

AUS DEM LEHR- UND VERSUCHSGUT
DER TIERÄRZTLICHEN FAKULTÄT
DER LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Arbeit angefertigt unter der Leitung von Prof. Dr. Armin M. Scholz

Vergleich der Körperzusammensetzung
konventioneller und alternativer Masthybriden mittels
Dualenergieröntgenabsorptiometrie und
Magnetresonanztomographie

INAUGURAL-DISSERTATION
ZUR ERLANGUNG DER TIERMEDIZINISCHEN DOKTORWÜRDE
DER TIERÄRZTLICHEN FAKULTÄT
DER LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT MÜNCHEN

von
Elke Maria Pappenberger
aus
Weiden (i. d. Opf.)

München 2014

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Joachim Braun
Berichterstatter: Prof. Dr. Armin M. Scholz
Korreferent: Priv.-Doz. Dr. Johann Maierl

Tag der Promotion: 08. Februar 2014

Für meine Familie
und Roland

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	6
1 Einleitung	8
2 Literatur	12
2.1 Rassenbeschreibungen	12
2.1.1 Allgemeine Zuchtzieltrends	12
2.1.2 Schwäbisch-Hällisches Schwein	12
2.1.3 Deutsche Landrasse	14
2.1.4 Deutsches Edelschwein	15
2.1.5 Pietrain	17
2.1.6 Duroc	18
2.1.7 Large Black	20
2.1.8 Wildschwein (lat. <i>Sus scrofa</i>)	21
2.2 Einflussfaktoren auf die Körperzusammensetzung	23
2.3 Vergleich der Gesetzestexte zur Schweinehaltung bei konventioneller und ökologischer Tierproduktion	28
2.3.1 Aktuelles Tierschutzlabel	30
2.4 Probleme der ökologischen Schweineproduktion	33
2.5 Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie	37
2.5.1 Funktionsweise	37
2.5.2 Verwendung zur Bestimmung der Körperzusammensetzung beim Schwein	40
2.5.3 Verwendungsbeispiele bei anderen Tierarten	45

2.6	Magnetresonanztomographie	47
2.6.1	Funktionsweise	47
2.6.2	Verwendung zur Bestimmung der Körperzusammensetzung beim Schwein	54
2.6.3	Verwendungsbeispiele bei anderen Tierarten	59
3	Material und Methode	63
3.1	Versuchstiere	63
3.1.1	Haltung der Versuchstiere	63
3.1.2	Ernährung der Versuchstiere	64
3.1.3	Genetik der Versuchstiere	64
3.2	Versuchsdurchführung	65
3.2.1	Untersuchung mittels MRT	68
3.2.2	Untersuchung mittels DXA	71
3.3	Statistische Auswertungen	75
3.3.1	MRT	75
3.3.2	DXA	77
3.3.3	Sonstige Auswertungen	78
4	Ergebnisse	79
4.1	MRT-Ergebnisse	79
4.1.1	MRT Kotelett	79
4.1.2	MRT Schinken	80
4.1.3	Zusammenfassung MRT-Ergebnisse	81
4.2	DXA-Ergebnisse	82
4.2.1	Ganzkörperuntersuchung	82
4.2.2	Körperregionen	85
4.3	Sonstige Ergebnisse	92
4.3.1	Körpergewicht Waage	92
4.3.2	Alter	93
4.3.3	Fruchtbarkeit	93
5	Diskussion	95
5.1	Vergleich der DXA-Gesamtkörperanalyse mit den vier Körperregionen . .	95

5.2	Vergleich der alternativen Kreuzungsgenotypen mit dem konventionellen Hybriden PI-DEDL	103
5.2.1	PI-DULB	103
5.2.2	PI-DUSH	105
5.2.3	PI-WIDULB	107
5.3	Diskussion von Material und Methode	108
5.4	Diskussion ausgewählter Ergebnisse	110
5.4.1	Vorhersage der Gesamtkörperzusammensetzung durch Analyse von einzelnen Körperregionen	110
5.4.2	Zusammensetzung der einzelnen Körperabschnitte	110
5.4.3	Ergebnisse von Kastraten versus Sauen	111
5.4.4	Vergleich der Leistung unterschiedlicher Genotypen	112
5.4.5	Literaturvergleich bezüglich der Knochenmineraldichte unterschiedlicher Genotypen	114
5.4.6	Leistungsvergleich unter ökologischer vs. konventioneller Haltung .	115
5.4.7	Vergleich des intramuskulären Fettgehaltes	117
5.5	Bedarf einer Alternative zum konventionellen Hybriden PI-DEDL	118
6	Schlussfolgerung	121
7	Zusammenfassung	124
8	Summary	127
9	Anhang	130
10	Literatur	131
	Danksagung	153

Abbildungsverzeichnis

1.1	Entwicklung der Ökofleisch-Erzeugung in Deutschland	11
2.1	Mögliche Einflussfaktoren auf die Körperzusammensetzung [A.M. Scholz 2002]	23
2.2	T2 von unterschiedlichen Geweben, modifiziert nach Schild [1997]	49
2.3	T1 von unterschiedlichen Geweben, modifiziert nach Schild [1997]	52
3.1	MRT-Aufnahme im Bereich Thorax/Lende	69
3.2	MRT-Aufnahme des Kotelettbereiches	70
3.3	3D-Modellierung des Koteletts	70
3.4	Positionierung des Tieres im MRT zur Aufnahme des „Schinkenbereiches“	72
3.5	Übersichtsbild (scout) im Bereich des Schinkens	72
3.6	MRT-Aufnahme des Hintergliedmaßenbereiches (Schinkens)	73
3.7	3D-Darstellung des analysierten Schinkenbereiches	73
3.8	Lagerung der Tiere auf dem iDXA-Scanner	74
3.9	Die vier manuell definierten Körperregionen eines DXA-Ganzkörperscans	76
5.1	Vergleich des Fettanteils der verschiedenen Körperregionen	98
5.2	Vergleich des Magerweichgewebeanteils der verschiedenen Körperregionen	100
5.3	Vergleich des Knochenmineralanteils der verschiedenen Körperregionen .	102

Tabellenverzeichnis

2.1	Verhältnis der bedeutendsten Aminosäuren in der Schweinemast	26
2.2	Mindeststall- und freiflächen der VO (EG) Nr. 889/2008, Anhang 3	30
2.3	Mindestfläche in konventioneller Haltung	31
2.4	Unterschiede zwischen den zwei verwendeten GE Lunar DXA-Geräten . . .	40
3.1	Futterzusammensetzung in der Mastphase	65
3.2	Verwendete Eber inklusive Anzahl geprüfter Nachkommen	66
3.3	Verwendete Sauen inklusive Anzahl geprüfter Nachkommen	67
3.4	Anzahl Versuchstiere	67
3.5	Anzahl der untersuchten Versuchstiere mittels iDXA und DPX-IQ	71
4.1	Ergebnisse MRT Kotelettregion	80
4.2	Ergebnisse MRT Schinkenregion	81
4.3	Ergebnisse DXA Ganzkörperscan	82
4.4	Ergebnisse DXA Ganzkörperscan in Prozent	83
4.5	DXA-Ergebnisse der ersten Körperregion	85
4.6	DXA-Ergebnisse der ersten Körperregion in Prozent	85
4.7	DXA-Ergebnisse der zweiten Körperregion	87
4.8	DXA-Ergebnisse der zweiten Körperregion in Prozent	87
4.9	DXA-Ergebnisse der dritten Körperregion	89
4.10	DXA-Ergebnisse der dritten Körperregion in Prozent	89
4.11	DXA-Ergebnisse der vierten Körperregion	91
4.12	DXA-Ergebnisse der vierten Körperregion in Prozent	91
4.13	Ergebnisse Körpergewicht	93
4.14	Durchschnittliches Alter der Probanden	94
4.15	Durchschnittlich lebend geborene und aufgezogene Ferkel pro Sau und Wurf	94
9.1	Durchschnittliche tägliche Futteraufnahme	130

Abkürzungsverzeichnis

AID	Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten e.V.
AS	Angler Sattelschwein
BE	Berkshire
BES	Bäuerliche Erzeugergemeinschaft Schwäbisch Hall
BHZZ	Bundeshybridzuchtprogramm
BMC	bone mineral content
BMD	bone mineral density
CK	Creatin-Kinase
DE	Deutsches Edelschwein
DL	Deutsche Landrasse
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
DU	Duroc
DXA	Dualenergie Röntgenabsorptiometrie
EGZH	Erzeugergemeinschaft und Züchtervereinigung für Zucht- und Hybridzuchtschweine in Bayern e.V.
g.g.A.	geschützte geographische Angabe
GK	Ganzkörper
GVO	genetisch veränderte Organismen
HF-Impuls	Hochfrequenz-Impuls
I	Energie des Röntgenstrahls
KGW	Körpergewicht
LB	Large Black
BL	Belgische Landrasse
LKV	Landeskuratorium der Erzeugerringe für tierische Veredelung in Bayern e.V.
LM	Lebendmasse
LSM	least squares means

LVG	Lehr- und Versuchsgut
MHS	Malignes Hyperthermie-Syndrom
MRT	Magnetresonanz-Tomographie
MSE	mean squared error; Mittlere quadratische Abweichung
NN	homozygot am RyR1-Genort; d.h. stressresistent
NP	heterozygot am RyR1-Genort
PP	homozygot, mutiert am RyR1-Genort; d.h. stressanfällig
PC	Prozent
PI	Pietrain
REML	restricted maximum likelihood
ROI	region of interest
Rp	Rohprotein
R-Wert	Röntgenschwächungskoeffizient
RyR1	Ryanodin-Rezeptor-1 Genort
SEE	Standard Error of Estimation; Standardschätzfehler
SH	Schwäbisch-Hällisches Schwein
T	Tesla
TA	Tamworth
T1	longitudinale Relaxationszeit
T2	transversale Relaxationszeit
TE	time to echo, Echozeit
TR	time to repeat, Repetitionszeit
WI	Wildschwein
YO	Yorkshire

1 Einleitung

Deutschland ist der größte Schweinefleischproduzent der Europäischen Union und der drittgrößte der Welt. Im Jahr 2011 erzeugte Deutschland absolut 5,6 Millionen Tonnen Schlachtgewicht [Westphal und Isenberg 2012]. Bezogen auf die einzelnen Bundesländer gehört Bayern zu den Ländern mit einer vergleichsweise hohen Schweineproduktion. Im Jahr 2010 betrug der Schweinebestand in Bayern 3,7 Millionen Tiere. Nur in Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen wurden 2010 mit 8,4 bzw. 6,7 Millionen deutlich mehr Schweine gehalten [Schaber 2012]. Insgesamt befindet sich rund 13 % des gesamtdeutschen Schweinebestandes in Bayern. 2011 wurden in Bayern 5,47 Millionen Schweine gewerblich geschlachtet und somit etwa 519.000 Tonnen Schweinefleisch erzeugt [Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2012]. Im Mai 2012 wurden in Bayern 3,46 Millionen Schweine in 6.724 Betrieben gezählt. Davon waren 286.563 Zuchtsauen und 1,487 Millionen Mastschweine (über 50 kg). Durchschnittlich hielten die Mastbetriebe 262 Mastschweine mit einem Gewicht von über 50 kg. 90 % der Zuchtsauen stammen genetisch aus dem bayerischen Zuchtprogramm. Dieses Programm wurde von der „Erzeugergemeinschaft und Züchtervereinigung für Zucht- und Hybridzuchtschweine in Bayern e. V. (EGZH)“ erarbeitet. Die EGZH ist ein Zusammenschluss von 101 Herdbuchbetrieben, welche eng mit der staatlichen Tierzuchtberatung, dem Tiergesundheitsdienst Bayern, dem Institut für Tierzucht der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, dem Landeskuratorium der Erzeugerringe für tierische Veredelung in Bayern e. V. (LKV) und den Besamungsstationen Bergheim, Landshut und Neustadt/Aisch zusammenarbeitet. Die Basiszucht enthält demnach die Rassen Deutsche Landrasse (DL) und das Deutsche Edelschwein (DE). Auf dieser Basis werden Jungsauen sowohl in Reinzucht als auch in Kreuzungszucht (die sog. Bayernhybriden) erzeugt. Für die Produktion von Mastschweinen werden in Bayern zu 95 % Pietrain-Endstufeneber (PI) eingesetzt [Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2012]. Das Zuchtprogramm beinhaltet eine Beurteilung der Zuchttiere mit Hilfe der Vergabe von Gesamtzuchtwerten, die aus den Teilzuchtwerten für Mast- und Schlachtleistung, Fleischqualität, Fruchtbarkeit, Stülpitzen, Fundament,

Anomalien, Gesundheit der Tiere sowie durch Nachkommen- und Geschwisterprüfung geschätzt werden. Dabei ist eine hohe Tageszunahme, der Futtermittelverzehr je Kilogramm Zuwachs und der Muskelfleischanteil von herausragender Bedeutung [Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2012].

Die ökologische Tierhaltung hat bisweilen keine eigenen Rassestandards, so dass sie auf die konventionellen Schweinerassen zurückgreift [Reuter et al. 2007]. Allerdings sollten Bioprodukte eine höhere Qualität aufweisen. Zudem wird mit ökologischer Tierhaltung auch eine nachhaltige Zucht in Verbindung gebracht. Die genetische Biodiversität soll laut den Gesetzesvorgaben für ökologische Landwirtschaft gefördert werden. An die Schweinerassen werden in der ökologischen Tierhaltung hohe Erwartungen gestellt. Sie sollen nicht nur ökonomisch gehalten werden können und ein gutes Sozialverhalten aufweisen, sondern sich durch eine gute Robustheit und Vitalität auszeichnen. Zudem ist eine problemlose Anpassung an veränderte Bedingungen wichtig, wie zum Beispiel an das unterschiedliche großteils hofeigene Futterangebot oder wechselhafte Witterungsverhältnisse. Im Gegensatz zur relativ kurzfristigen Maximalleistung der konventionellen Tierzucht steht eine verlässliche lange Lebensleistung im Vordergrund [Reuter 2007].

Nach dem Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft steigt die Nachfrage nach Biofleisch kontinuierlich an. So war 2011 ein Wachstum der Nachfrage nach Bio-Fleisch um 28 % zu verzeichnen [Moewius et al. 2012]. Jedoch könnte der Handel noch deutlich gesteigert werden, wenn das Angebot vorhanden wäre [Löffler und Filbrandt 2012; Moewius et al. 2012]. Im Jahr 2004 wurden nur 55.000 Bio-Mastschweine gehalten, während es 2010 bereits 120.000 Mastschweine mit steigender Tendenz zu verzeichnen gab [Moewius et al. 2012]. Dieser Trend zeigt sich auch im Diagramm über die Schweinefleischerzeugung in Deutschland aus Abbildung 1.1 auf Seite 11.

Es ist augenfällig, dass konventionelle Hybriden den Anforderungen einer ökologischen Landwirtschaft nicht problemlos gerecht werden können, was beispielsweise die problemlose Anpassung an die Wetterverhältnisse betrifft. Die unpigmentierten Bayernhybriden bekommen in ökologischer Haltung ohne eine Möglichkeit zum Suhlen sehr schnell Sonnenbrand [Reuter et al. 2007] und zeigen daraufhin zum Teil sehr starke Schmerzreaktionen mit tagelanger Apathie und verminderter Futteraufnahme. Auch durch Anbieten einer Freifläche, welche teilweise mit einem Sonnendach geschützt wird, können trotzdem Sonnenbrände nicht ganz verhindert werden, da die Schweine diese Sonnenschutzmöglichkeit aus eigener Erfahrung nicht immer wahrnehmen möchten.

Mit dem Anliegen die Mastschweinehaltung tierschutzgerechter zu gestalten, wurde Anfang 2013 das zweistufige sog. Tierschutzlabel für Mastschweine und Masthühner ein-

geführt. In der Premiumstufe muss den Schweinen ebenfalls eine Offenstallung bzw. eine Auslauffläche zur Verfügung gestellt werden [Deutscher Tierschutzbund e.V. 2013]. Jedoch wurden bei der Festlegung der Rahmenbedingungen für das Tierschutzlabel keine Vorgaben bezüglich der Schweinerassen gegeben. Beide Haltungsformen verlangen jedoch dem Tier (als auch dem Personal) Widerstandsfähigkeit, Vitalität und Robustheit ab. Im Winter kommt es beispielsweise durch „Minustemperaturen“ zu erhöhter Verletzungsgefahr aufgrund der Vereisung der Auslauffläche. Außerdem müssen die Tiere nicht nur kälte- sondern auch hitzetolerant sein. Wie bereits erwähnt, besteht im Sommer die Gefahr von Sonnenbrand aufgrund der fehlenden Hautpigmentierung der konventionellen Rassen.

Vollständig pigmentiert und ideal für die Freilandhaltung geeignet ist beispielsweise die Rasse Large Black (LB). Sie ist zwar komplett schwarz pigmentiert, aber das Fleisch ist durch einen sehr hohen Fettanteil charakterisiert und entspricht damit nicht den Erwartungen der Verbraucher.

Es besteht durchaus aus Sicht des Tierschutzes die Notwendigkeit Schweine zu züchten, welche deutlich besser für die Freilandhaltung geeignet sind. Aus wirtschaftlicher Sicht muss aber auch die Körperzusammensetzung der alternativen Schweine berücksichtigt und mit konventionellen Schweinen verglichen werden.

Ziel dieser Arbeit ist es, die konventionellen Hybriden (PI x [DL x DE]) mit alternativen Hybriden bezüglich ihrer Körperzusammensetzung zu vergleichen. Für die alternativen Hybriden wurde als Vatterrasse immer Pietrain gewählt. Die verwendeten Muttertierassen Schwäbisch-Hällisches Schwein, Duroc, Large Black und Wildschwein sind robust und für die Freilandhaltung sehr gut geeignet. Sollte die Körperzusammensetzung in Bezug auf Fleisch- und Fettanteil mit den konventionellen Kreuzungsgenotypen vergleichbar sein, könnten diese alternativen Hybriden sowohl für die konventionelle als auch für die ökologische Landwirtschaft geeignet sein.

Auch Regionalvermarkter könnten von den alternativen Hybriden profitieren. Diese könnten sich durch die Wahl dieser außergewöhnlichen Schweinerassen mit sehr guter Fleischqualität profilieren. Der Trend der Verbraucher, regionale und qualitativ hochwertige Lebensmittel zu bevorzugen, wurde durch die Verunsicherung aufgrund von Lebensmittelskandalen beschleunigt. Das Vertrauen in regionale und ökologische Produkte ist gestiegen und damit auch die Bereitschaft, höhere Preise in Kauf zu nehmen [Löffler und Filbrandt 2012; Moewius et al. 2012]. Auch für eine tierschutzgerechtere Haltung wäre etwa 20 % der deutschen Bevölkerung bereit mehr Geld auszugeben [Deutscher Tierschutzbund e.V. 2013].

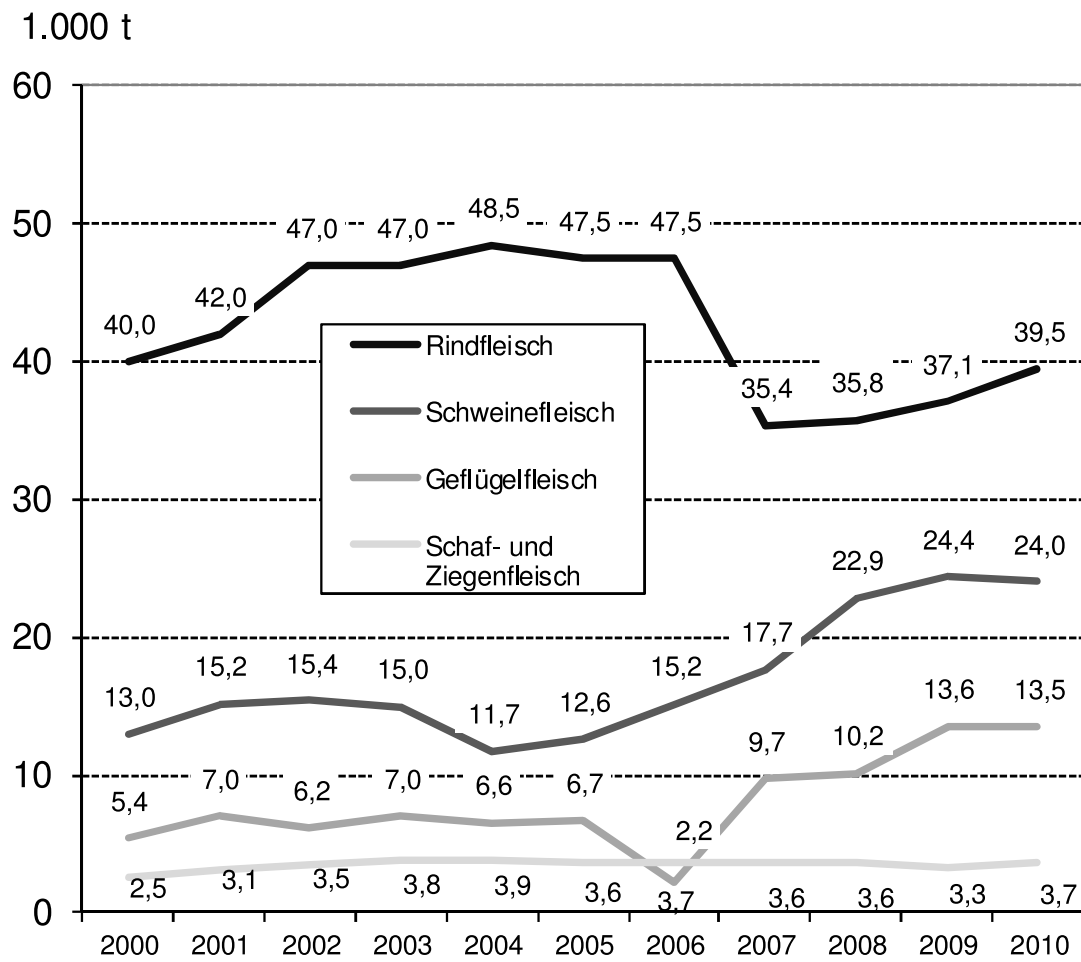


Abbildung 1.1: Entwicklung der Ökofleisch-Erzeugung in Deutschland modifiziert nach Westphal und Isenberg [2012]

2 Literatur

2.1 Rassenbeschreibungen

2.1.1 Allgemeine Zuchtzieltrends

Generell gab es in Bayern in den letzten Jahren folgende Zuchtzieltrends: Im Jahr 1995 wurden die Mutterrassen vermehrt auf Zunahme gewichtet. Die Fleischqualität und die Stresstabilität sollte v.a. bei der Rasse Pietrain verbessert werden. Im Jahr 2000 dagegen verringerte sich das Interesse an der Fleischqualität und die tägliche Zunahme wurde weiterhin forciert. Mutterrassen sollten dafür eine deutlich bessere Fruchtbarkeit vorweisen. Der Fleischansatz der Vatterassen wurde im Jahr 2005 noch höher gewichtet als im Jahr 2000 [Götz et al. 2006]. Im Jahr 2010 wurde bei den Vatterassen die tägliche Zunahme mit 32 % bewertet, die Futtermittelverwertung mit 23 % und zu je 12 % wurden der intramuskuläre Fettgehalt und der Fleischanteil festgesetzt. Bei den Mutterrassen wurde im Jahr 2010 die Anzahl der abgesetzten Ferkel (42 %) am Bedeutsamsten. Die Anzahl lebend geborene Ferkel kam an nächster Stelle mit 28 % [EGZH 2010].

2.1.2 Schwäbisch-Hällisches Schwein

Geschichte

Das Schwäbisch-Hällische Schwein entstand im Jahr 1820 durch eine Kreuzung der einheimischen Schweinerrasse, dem Haller Landschlag, mit dem chinesischen Maskenschwein unter König Wilhelm I. [Bühler und Postler 2004; Züchtervereinigung Schwäbisch Hällisches Schwein 1999]. In den 1950er Jahren bestand eine große Nachfrage aufgrund der sehr guten Futtermittelverwertung, der außergewöhnlichen Fruchtbarkeit und dem vorzüglich schmeckenden Fleisch, was durch den hohen Anteil des Geschmacksträgers Fett begründet ist. So bestand die Population in dieser Zeit in Nord-Württemberg zu 90 % aus Schwäbisch-Hällischen Schweinen. Jedoch veränderte sich die Essgewohnheit in den 1960er Jahren. Magereres Fleisch wurde bevorzugt, weshalb nicht nur die Züchtung und

die Nachfrage nach dem Schwäbisch-Hällischen Schwein, sondern aller fettreichen Rassen (wie zum Beispiel dem Large Black bzw. dem Deutschen Cornwall) rapide abnahm. Seit 1986 besteht die Züchtervereinigung Schwäbisch-Hällisches Schwein (ZVSH), die sich den Erhalt der alten Landrasse zum Ziel gesetzt hat. Sie arbeitet eng mit der Bäuerlichen Erzeugergemeinschaft Schwäbisch Hall (BES) zusammen [Bühler und Postler 2004].

Um der Nachfrage nach magerem Fleisch nachzukommen, werden Mastschweine gerne durch eine Kreuzung reinrassiger Stammzucht der Schwäbisch-Hällischen Mutter-sauen mit Fleischebern (bevorzugt Pietrain) produziert [Hörning 2004]. Alle unter der geschützten geographischen Angabe (g.g.A.) „Schwäbisch-Hällisches Qualitätsschweinefleisch g.g.A.“ vermarkteten Tiere unterliegen den „verbindlichen Erzeugerrichtlinien für Schwäbisch-Hällisches Qualitätsschweinefleisch g.g.A. aus kontrollierter und artgerechter Erzeugung“, welche von der Bäuerlichen Erzeugungsgemeinschaft Schwäbisch Hall (BES) formuliert wurden [Bäuerliche Erzeugergemeinschaft Schwäbisch Hall 2012]. Demnach müssen die Tiere aus den Landkreisen Schwäbisch Hall, Hohenlohe, Main-Tauber, Ansbach, Ostalb oder Rems-Murr stammen. Desweiteren müssen alle Tiere im Erzeugerschlachthof Schwäbisch Hall geschlachtet werden [Bühler und Postler 2004]. Eine weitere Voraussetzung für Erzeugerbetriebe ist die Mitgliedschaft im Landwirtschaftlichen Beratungsdienst Schwäbisch Hall e.V. Dieser berät die Betriebe bei der Haltung und Auswahl geeigneter Zuchttiere [Bäuerliche Erzeugergemeinschaft Schwäbisch Hall 2012], um die bereits bestehende Inzuchtproblematik [Hörning 2004; Seibel und Biedermann 2005] zu vermindern. Im Jahr 2011 konnten in Deutschland 169 weibliche Tiere und 14 männliche Zuchttiere gezählt werden [Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung 2013].

Charakteristika

Das Schwäbisch-Hällische Schwein ist durch seine Widerstandsfähigkeit und Langlebigkeit gekennzeichnet, wodurch es für alle Haltungsformen einschließlich der Weidehaltung geeignet ist. Es gibt viel Milch, ist sehr fruchtbar und hat sehr gute Muttereigenschaften. Es verwertet das Futter sehr gut, ist frohwüchsig und großrahmig. Die Fleischbeschaffenheit ist bei ausreichendem Muskelfleischanteil hervorragend [German Genetic 2013; Züchtervereinigung Schwäbisch Hällisches Schwein 1999]. Die tägliche Zunahme beträgt 800-900 g, die Wurfgröße liegt bei elf Ferkeln [Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung 2013]. Besonders geeignet ist das Schwäbisch-Hällische Schwein für den Einsatz als Sauenlinie [German Genetic 2013].

Exterieur

Der mittellange Kopf ist gekennzeichnet durch die großen Schlappohren und die gerunzelte, maskierte Stirn. Die Schulter und die Brust sind breit und tief. Der Rücken steigt nach caudal etwas an. Das Becken fällt leicht ab und ist breit. Der Bauch wird als geräumig und fest aber nicht zu fett beschrieben. Desweiteren hat der Körperbau symmetrisch und die Gelenke trocken zu sein. Ferner besitzt es ein stabiles Fundament. Mindestens 14 Milchdrüsen müssen sichtbar sein. Der Kopf, der Hals und die Hinterhand sind schwarz pigmentiert, der übrige Körper ist weiß. Jedoch können die Schwarz-Weiß-Anteile unterschiedlich ausgeprägt sein. Bevorzugt werden eine weiße Rüsselscheibe und eine weiße Schwanzspitze. Die Haut ist entsprechend der Haarfarbe schwarz beziehungsweise weiß gefärbt [Züchtervereinigung Schwäbisch Hällisches Schwein 1999]. Dabei ist zu erwähnen, dass es sich bei einigen am Lehr- und Versuchsgut gehaltenen Schwäbisch-Hällischen Schweinen um eine Farbmutation handelt, bei welcher der gesamte Körper schwarz pigmentiert ist. Diese Tiere gehen auf den Schwäbisch-Hällischen Besamungs-eber „Solitaire“ der Besamungsstation Abstetterhof zurück.

2.1.3 Deutsche Landrasse

Geschichte

Durch die Veredelungskreuzung einer Vielzahl von Landschlägen mit Yorkshire (Large White) entstand die „Deutsche Landrasse“ Anfang dieses Jahrhunderts. Ein einheitliches Zuchtziel kristallisierte sich jedoch erst in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts heraus [AID 1997]. Seit den veränderten Essgewohnheiten der Verbraucher (siehe Schwäbisch-Hällisches Schwein) wurde bevorzugt ein „langes Fleischschwein“ gezüchtet, bei denen v.a. Schweine mit dänischem Blut eingekreuzt wurden [Sambras 1986].

Charakteristika

Die Deutsche Landrasse ist nicht nur fleischreich, sondern auch ein fruchtbares Universalschwein, wobei züchterisch auch auf Stresstabilität hin selektiert wird [AID 1997]. Alle Schweine der bayerischen Herdbuchzucht sind 100 % reinerbig stressstabil [Littmann et al. 2006]. Die konstitutionsstarken Schweine haben eine sehr gute Mastleistung sowie eine gute Fleischbeschaffenheit [EGZH 2012]. Die Schlachtreife wird mit 105 - 115 kg erreicht [Weiß et al. 2011]. Zudem zeichnen sie sich durch eine gute Fruchtbarkeit mit hohen Aufzuchtsergebnissen aus [Hybridschweinezuchtverband Nord/Ost e.V. 2013]. Sie

werden vor allem zur Erzeugung von Kreuzungstieren eingesetzt. Die besten Sauen (mit dem höchsten Gesamtzuchtwert) werden für die Reinzucht verwendet [EGZH 2012].

Exterieur

Die Deutsche Landrasse ist großwüchsig. Der lange Kopf ist gekennzeichnet von Schlappohren und einer eingedellten Nasenlinie. Der Körper ist von weißen Borsten bedeckt [Sambraus 1986]. Die Haut ist rein weiß, wodurch sich eine Weidehaltung nicht anbietet.

Spezielle Zuchtziele

Generell unterliegen Zuchtziele einem raschen Wandel. Bei der Definition der Zuchtziele werden Annahmen über die zukünftige wirtschaftliche Lage und das Verhalten der züchterischen Konkurrenz mit einbezogen. Somit ist die Zuchtzielbestimmung kein objektives Verfahren [Littmann et al. 2006]. In den folgenden formulierten Zuchtzielen der einzelnen Rassen handelt es sich lediglich um beispielhafte Normen des Auswertungs- und Informationsdienstes für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten e.V. und des Hybridschweinezuchtverbandes Nord/Ost e.V.. Nach dem Hybridschweinezuchtverband Nord/Ost e.V. werden von den Sauen der Deutschen Landrasse pro Wurf mehr als 14,0 lebend geborene Ferkel erwartet. Die tägliche Zunahme soll mehr als 900 g betragen, sollen einen Wert über 56 % Magerfleischanteil aufweisen. Zudem sollte weniger als 2,7 kg Futter pro kg Zuwachs aufgewendet werden müssen [Hybridschweinezuchtverband Nord/Ost e.V. 2013]. Dagegen formuliert der AID [1997] eine Zuchtleistung von 20,1 aufgezogenen Ferkeln je Sau und Jahr mit 9,6 aufgezogenen Ferkeln je Wurf. Der Muskelfleischanteil soll 57 % betragen bei einer täglichen Zunahme von 863 g [AID 1997]. Die Mast- und Schlachtleistungsprüfungen in Bayern ergaben im Jahr 2012 für die Deutsche Landrasse eine Tageszunahme von 972 g. Der Futterverzehr je kg Zuwachs lag bei 2,58 kg bei einem Muskelfleischanteil von 55,0 % [Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2012].

2.1.4 Deutsches Edelschwein

Geschichte

Durch die Verdrängungskreuzung aus dem deutschen Marschschwein mit dem englischen Yorkshire (auch Large White genannt) entstand 1850 das Edelschwein. Bereits zu Beginn

der Zucht wurde auf Frühreife, schnelles Wachstum und Fleischleistung Wert gelegt. Das Deutsche Edelschwein entsprach mit seinem hohen Magerfleischanteil und seiner guten Bemuskelung den veränderten Essgewohnheiten der Verbraucher in den 1960er/1970er Jahren [Sambraus 1986].

Charakteristika

Das Deutsche Edelschwein zeigt eine gute Fleischleistung und ausgezeichnete Mastleistung bei sehr guter Fleischqualität. Durch seine Frühreife und hervorragende Fruchtbarkeit wird das Edelschwein oft als Muttertier, sowohl in der Kreuzungs- als auch in der Reinzucht verwendet [EGZH 2012]. Zudem ist es durch geringe Stressanfälligkeit [Weiß et al. 2011], Vitalität und Langlebigkeit sowie hohe Zunahmen bei sehr guter Futterverwertung gekennzeichnet [Hybridschweinezuchtverband Nord/Ost e.V. 2013]. Alle Schweine der bayerischen Herdbuchzucht sind 100 % reinerbig stressstabil [Littmann et al. 2006]. Die Schlachtreife wird mit 100 - 110 kg erreicht [Weiß et al. 2011].

Exterieur

Das Deutsche Edelschwein sieht der Deutschen Landrasse sehr ähnlich. Es hat ebenfalls weiße Borsten auf weißer Haut, die Nase ist eingesattelt und der Körperbau ist großrahmig. Jedoch ist es nur mittellang, der Kopf ist breiter und durch Stehohren gekennzeichnet [EGZH 2012].

Spezielle Zuchtziele

Die Sauen sollten mehr als dreizehn lebend geborene Ferkel pro Wurf produzieren. Von Kastraten wird ein Magerfleischanteil von über 56 % erwartet. Die tägliche Zunahme sollte über 900 g betragen. Es sollte weniger als 2,6 kg Futter pro Kilogramm Zuwachs aufgewendet werden müssen [Hybridschweinezuchtverband Nord/Ost e.V. 2013]. Dagegen schlägt der AID [1997] einen Muskelfleischanteil von 57,1 % mit einer Futterverwertung von 1:2,77 vor. Je Sau und Jahr sind 19,4 Ferkel und pro Wurf 9,1 aufgezogene Ferkel erwünscht. Die tägliche Zunahme ist mit 833 g deutlich geringer angesetzt [AID 1997]. Das Leistungsniveau lag beim Deutschen Edelschwein 2012 in Bayern bei einer Tageszunahme von 979 g, einem Muskelfleischanteil von 54,9 % und einem Futterverzehr von 2,59 kg je kg Zuwachs [Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2012].

2.1.5 Pietrain

Geschichte

Die Geschichte dieser Schweinerasse kann heute nicht mehr exakt rekonstruiert werden. Es wird vermutet, dass sie in den 1920er Jahren durch die französische Rasse Bayeux in Belgien entstand. Da sie zu Beginn nur in einem kleinen Dorf namens Pietrain gehalten wurde, bekam sie dort ihren heutigen Namen. Die Halter gründeten zu Beginn der 1950er Jahre einen Verein. Erst Ende der 1950er kamen die ersten Pietrains in Deutschland an. Bemerkenswerterweise wurde schon um 1930 festgestellt, dass Pietrains einen höheren Ertrag als andere Schweine erzielten [Sambraus 1986].

Charakteristika

Das sogenannte 4-Schinken-Schwein (d.h. eine starke Schinkenausbildung und ausgeprägte Schultern) wird v.a. wegen der hervorragenden Fleischfülle gezüchtet, wobei es einen sehr geringen Fettansatz zeigt [Sambraus 1986]. Darüber hinaus zeichnet es sich mit einer hohen Mastleistung bei guter Fleischqualität aus und wird für die Mastschweinproduktion entweder in Rein- oder als Kreuzungszucht verwendet [EGZH 2012]. Die Schlachtreife wird bereits mit 90-95 kg erreicht [Weiß et al. 2011]. Sein ursprüngliches „Problem“ der Stressanfälligkeit, welche sich in Form eines sog. Malignen Hyperthermie-Syndroms bei körperlichen Belastung bzw. Stress oder auf das Narkosemittel Halothan äußert, wird weiterhin züchterisch berücksichtigt [AID 1997; Littmann et al. 2006; Mattes 2004; A.M. Scholz 2002; Weiß et al. 2011]. Die Stressanfälligkeit der Schweine ist auf einen Gendefekt (die Mutation des Ryanodin-Rezeptorgen-1 (RyR1), das MHS-Gen) zurückzuführen [MacLennan et al. 1990]. Zur Detektion der stressanfälligen Schweine werden Genomanalysen zur Identifizierung des MHS-Genotyps durchgeführt. Dieses Gen beeinflusst den Ryanodin-Rezeptor, welcher die Calcium-Regulation der Skelettmuskulatur steuert. Zu Beginn der 1980er Jahre wurde ein sog. Halothan-Test zur Prüfung auf Stressempfindlichkeit eingesetzt. Dabei reagierten stressempfindliche Tiere bei Inspiration eines Gasgemisches aus 4 % Halothan und 96 % Sauerstoff unter anderem mit Krämpfen. Eine weitere Testmöglichkeit ist der sog. Creatin-Kinase-Test (CK-Test), welcher an Jungsauen durchgeführt wurde. CK ist ein Muskelenzym, welches z.B. durch Muskelkrämpfe freigesetzt wird. Für den Test wird 24 h nach einer Stresssituation der Creatin-Kinase-Wert im Blut bestimmt. Bei stressanfälligen Tieren erhöht sich demnach der CK-Wert im Blut. Seit Einführung des MHS-Genotyps hat allerdings der Halothan- und CK-Test an Bedeutung verloren. Vorteil dieses diagnostischen Verfahrens ist eine

eindeutige Bestimmung der Genvarianten NN, PP und NP [Littmann et al. 2006]. Dabei ist der Genotyp NN stressresistent und PP stressanfällig. Der heterozygote Genotyp kann ebenfalls stressanfällig sein [A.M. Scholz 2002].

Exterieur

Pietrain sind kurz, mittelrahmig, breit und besitzen einen tiefen Rumpf. Auffällig ist ihre massige Muskelausbildung v.a. an der Schulter und am Schinken. Die Haut ist entweder schwarz gescheckt, komplett weiß oder hellgrau mit unregelmäßig verteilten dunkelbraunen oder schwarzen Flecken. Der Kopf ist durch kurze Stehohren gekennzeichnet [EGZH 2012; Sambraus 1986].

Spezielle Zuchtziele

Die Tiere sollen mehr als 800 g tägliche Zunahmen zeigen, dabei aber weniger als 2,4 kg Futter pro Kilogramm Zuwachs benötigen. Zudem wird von den Kastraten ein Magerfleischanteil von über 63 % erwartet [Hybridschweinezuchtverband Nord/Ost e.V. 2013]. Dagegen müssen nach dem AID [1997] die Pietrainschweine eine tägliche Zunahme von nur 739 g mit einer Futterverwertung von 1:2,53 aufweisen. Desweiteren soll der Muskelfleischanteil bereits bei 64,8 % liegen und die Sauen 18,6 Ferkel pro Jahr und 9,3 Ferkel pro Wurf aufziehen. 2012 lag das Leistungsniveau in Bayern bei einer Tageszunahme von 811 g, einem Muskelfleischanteil von 67,8 % und einem Futterverzehr von 2,24 kg pro kg Zuwachs [Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2012].

2.1.6 Duroc

Geschichte

1812 wurden „rote Schweine“ in New York und in New Jersey gezüchtet. Durocs entstanden vermutlich durch die Kreuzung der roten Schweine dieser beiden Bundesstaaten. 1883 wurde der erste Interessensverband die „American Duroc-Jersey Association“ gegründet. Sie machte es sich zum Ziel, die Red Hogs (rote Schweine) zu verbessern und zu fördern. Schon zu Beginn der Zucht fiel auf, dass diese Schweine große Würfe hatten, die Ferkel schnell zunahmen und sehr groß waren. Im Laufe der Jahre, in denen sich noch mehrere kleinere Gemeinschaften bildeten, wurden sie alle 1934 zur Organisation „United Duroc Swine Registry“ vereint [National Swine Registry 2010]. Anfang der 1980er Jahre kamen die ersten Durocs nach Deutschland [AID 1997].

Charakteristika

Das Fleisch von Durocs zeigt, im Gegensatz zu sehr vielen anderen Schweinerassen, aufgrund des ausreichend hohen intramuskulären Fettgehaltes sehr gute sensorische Eigenschaften und eine sehr gute Fleischqualität. Demnach wird die Fleischqualität bereits bei 25 %-igem Duroc-Genanteil sehr positiv beeinflusst, ohne dabei negativ mit der Schlachtkörperqualität zu korrelieren [Brandt et al. 2009]. Eine Studie mit dänischen Durocebern zeigte jedoch, dass der intramuskuläre Fettanteil nicht über 2 % hinaus kam [Glodek et al. 2004]. Allerdings handelte es sich hierbei um dänische Tiere und zudem um eine geringere Anzahl an Tieren als bei Brandt et al. [2009]. Auch in einer Studie unter ökologischen Produktionsbedingungen konnte bestätigt werden, dass Kastraten der Rasse Duroc und der Hybrid DU-DL im Vergleich zum Genotyp PI-DEDL einen signifikant höheren intramuskulären Fettanteil (3,49 : 3,57 : 1,09) besaßen [Weißmann 2009]. Die Rasse überzeugt zudem durch ihre überdurchschnittliche Mast- und gute Fleischleistung [EGZH 2012]. Nachkommen von Duroc-Vätern weisen eine deutlich höhere Lebendgewichtszunahme mit einer besseren Energieverwertung und einen deutlich höheren Knochenanteil auf, als Nachkommen von Pietrain oder Hampshire. Der Fleischanteil und die Rückenmuskelfläche ist jedoch bei Duroc-Nachkommen geringer als bei Nachkommen von Pietrain oder Hampshire [Glodek et al. 2004].

Außerdem ist die Rasse robust und durchwegs stressstabil (MHS = NN). Die Sauen geben sehr viel Milch, haben sehr gute Muttereigenschaften und der Nachwuchs ist frohwüchsig [Sambras 1986; Weiß et al. 2011]. Die Schlachtreife wird mit 100 - 110 kg erreicht [Weiß et al. 2011]. Sowohl für die Erzeugung von wachstumsbetonten Endstufenebern in Reinzucht als auch für Kreuzungen ist sie durchaus geeignet [EGZH 2012; Schön et al. 2013].

Exterieur

Die Körperfärbung variiert von einer satten Goldfärbung, fast schon gelblich bis einem sehr dunklen rot, welches an Mahagoniefarbe erinnert [Burditt et al. 1999]. Duroc-Schweine sind großrahmig. Sie haben einen verhältnismäßig kleinen Kopf mit Hängeohren [EGZH 2012; Sambras 1986]. Der Rücken ist leicht gewölbt und die Nasenlinie leicht eingedellt [Sambras 1986].

Spezielle Zuchtziele

Kastraten sollen einen Magerfleischanteil von über 57 % aufweisen. Pro Wurf werden über elf lebend geborene Ferkel erwartet. Weniger als 2,8 kg Futter sollten pro Kilogramm Zuwachs benötigt werden und eine Tageszunahme von über 900 g erreicht werden [Hybridschweinezuchtverband Nord/Ost e.V. 2013]. Der AID [1997] beschreibt dagegen eine Zuchtleistung von 17,8 aufgezogenen Ferkeln je Sau und Jahr mit 8,1 aufgezogenen Ferkeln pro Wurf. Die Mastleistung wird mit 808 g pro Tag bei einer Futterverwertung von 2,69 kg pro Kilogramm Zuwachs definiert. Der Muskelfleischanteil in der Schlachtkörperbewertung wird mit 56,6 % angegeben.

2.1.7 Large Black

Geschichte

Ursprünglich kommt das Large Black aus England. Dort wurde es erst im späten 18. Jahrhundert in Cornwall, Devonshire, Suffolk und Essex entdeckt. Es ist eine Kreuzung aus südenglischen, großohrigen Landschweinen mit kleineren, portugiesischen und neapolitanischen Schweinen. Erst 1899 wurde die erste Züchterorganisation, die „Large Black Pig Society“, gegründet. Nach dem 1. Weltkrieg wurden viele Large Black wegen ihrer robusten, für Sonnenbestrahlung unempfindlichen Haut, auch in wärmere Länder exportiert. In Deutschland, wohin die ersten Schweine aus Cornwall (deshalb Synonym: Cornwall-Schweine) 1896 importiert wurden, konnte sich die Rasse nur schwer durchsetzen. In Niederbayern waren die meisten Schweine vertreten, die sowohl in den Gebirgen als auch in sehr niederschlagsreichen und kalten Gegenden problemlos gehalten werden konnten. Im Jahre 1936 hatte das Large Black in Deutschland nur einen Anteil von 0,21 %. Nach dem 2. Weltkrieg stieg der Anteil an Cornwall-Schweinen v.a. in der ehemaligen DDR wegen des hohen Fettanteils rasant an, was in der Mitte der 1960er Jahre sein jähes Ende fand. Die Rasse hatte im Rahmen der Fleischschweinproduktion keine Perspektive mehr, da die Konsumenten mageres Fleisch forderten. Dadurch verschwanden die Large Black in Deutschland. Die letzte Herdbuchzucht wurde in der Mitte der 1960er Jahre in Thüringen geschlossen [Boettcher 2012].

Charakteristika

Die Large Blacks zeichnen sich durch ihre extreme Widerstandsfähigkeit und ihre Anspruchslosigkeit aus [Large Black Hog Association 2010]. Sie sind winterhart, sehr gut-

mütig und somit für jede Art der Freilandhaltung geeignet. Es reicht sogar ein einfacher Elektrozaun, um sie auf der Weide zu begrenzen [Large Black Pig Breeders Club 2011; Sambraus 1986]. Sie besitzen ausgezeichnete Muttereigenschaften und können mit einfachstem Futter große Würfe aufziehen. Das Fleisch der Large Black ist sehr saftig und schmackhaft [Large Black Pig Breeders Club 2011].

Exterieur

Die Large Blacks wurden schon 1810 als Giganten beschrieben. Ihre Köpfe sind riesig und haben sehr lange Hängeohren. Ursprünglich gab es zwei unterschiedliche Rassen in England. Die einen hatten dichte und lange Haare, die anderen dünnes und kurzes Haar. In den heutigen Würfen können beide Schläge durchkommen. Die Haut ist durchgehend schwarz [Large Black Hog Association 2010]. Jegliche andere Farben werden in der britischen Zucht verboten [British Pig Association 2005]. Sie haben einen langen Rumpf und eine tiefe Brust [Large Black Pig Breeders Club 2011]. In der Britischen Large Black Zucht ist dieses Kriterium einer sehr langen Körperform von äußerster Wichtigkeit [British Pig Association 2005]. Der Kopf ist geringgradig eingesattelt. Die Rückenlinie ist leicht gewölbt. Die Knochen sind sehr kräftig gebaut [Sambraus 1986]. Der Schinken soll sehr breit und voll sein, die Lende soll gut entwickelt sein [British Pig Association 2005].

2.1.8 Wildschwein (lat. *Sus scrofa*)

Geschichte und Verbreitung

Rund 25 Millionen Jahre lässt sich die Stammesgeschichte des Wildschweines zurückverfolgen [Niedersächsisches Ministerium für den ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2005]. Es sind 32 Unterarten der Wildschweine bekannt, welche in West- und Mitteleuropa vorkommen [Grzimek 1993]. Das Wildschwein ist extrem anpassungsfähig. Sogar in urbanen Räumen wie Berlin fühlen sich die Wildschweine wohl [Gethöffer 2005]. Das Wildtier kann sowohl im Flachland leben, als auch in den Bergen bei einer Höhe von bis zu 4.000 Metern. Sowohl Sümpfe als auch trockene Steppen stellen kein Problem für die Tiere dar. Die Frischlinge sind allerdings sehr kälteempfindlich, weshalb kältere Gebiete während der Frischzeit als Schwarzwildlebensräume ausscheiden [Grzimek 1993].

Charakteristika

Schwarzwild verfügt über ausgesprochen gute Sinne. Das Witterungsvermögen, ein gutes Gehör und der sehr gut entwickelte Tast- und Geschmackssinn charakterisieren das Schwarzwild [Niedersächsisches Ministerium für den ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2005]. Die Sehleistung dagegen ist ziemlich eingeschränkt. Das Nahrungsspektrum hängt von der jeweiligen Umgebung ab. Sowohl pflanzliche als auch tierische Nahrung fällt in sein Nahrungsspektrum. Aufgrund der ständigen Wühlaktivität können Wildschweine zur Landschaftsgestaltung beitragen. Der Boden wird flächig gelockert, sodass dies zur Verjüngung des Baumbestandes beiträgt [Grzimek 1993]. Die Artenvielfalt wird sehr positiv beeinflusst und das Überleben von kurzlebigen Pflanzenarten verbessert [Simon und Goebel 1999]. Zudem vertilgen sie viele Pflanzenschädlinge wie z.B. Engerlinge, Blattwespen, Nonnen-, Forleulen-, und Kieferspanner-raupen. Die Reproduktion hängt stark von der körperlichen Konstitution ab [Grzimek 1993]. Diese Beobachtung bestätigen auch neuere Forschungen bezüglich des Pubertätseintritts der Wildschweine. Weibliche Tiere können teilweise bereits ab dem siebten Lebensmonat trächtig werden. Weitaus häufiger werden jedoch die Sauen mit circa einem Jahr gedeckt. Die männlichen Frischlinge sind normalerweise ab dem 13. Lebensmonat geschlechtsreif [Neef 2009]. Abhängig vom Nahrungsangebot werden in guten Zeiten ca. 50 % der fast jährigen Sauen gedeckt, während bei Mangel gar keine Sau trächtig wird. In Jahren mit guter Nährstoffversorgung können die Sauen bis zu zwei Würfe pro Jahr aufziehen. Die Anzahl der Frischlinge variiert je nach Wurfanzahl [Grzimek 1993]. Sauen gebären durchschnittlich fünf Frischlinge pro Wurf [Gundlach 1968]. Die Tragzeit beträgt bei alten Bachen 133 - 140 Tage, bei Erstgebärenden 114 - 130 Tage. Da die Tiere sehr gesellig sind, ist eine Überführung in den Haustierstand durchaus möglich [Grzimek 1993]. Die Tiere können ein Höchstalter von 15 - 20 Jahren erreichen [Niedersächsisches Ministerium für den ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2005].

Exterieur

Die Wildschweine haben eine Körpergröße von 60 - 115 cm mit einem Gewicht zwischen 45 - 175 kg [Niedersächsisches Ministerium für den ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2005]. Der Kopf ist sehr groß, kegelförmig und lang, während Hals und Rumpf eher kurz und gedrungen sind. Im Winter besitzen die Wildschweine dichte Unterwolle und darüber ein dichtes Borstenkleid. Die Borsten sind im

Bereich des Nackens, Widerrist und auf dem Rücken sehr lang. Die Neugeborenen zeichnen sich aus durch eine charakteristisch gelbe Längsstreifung im Fell, welche sowohl am Rücken als auch an den Seiten sichtbar ist [Grzimek 1993].

2.2 Einflussfaktoren auf die Körperzusammensetzung

Verschiedenste Faktoren können auf die Leistung der Mastschweine einwirken. Die Abbildung 2.1 stellt die häufigsten Einflussfaktoren auf die Körperzusammensetzung zusammen.

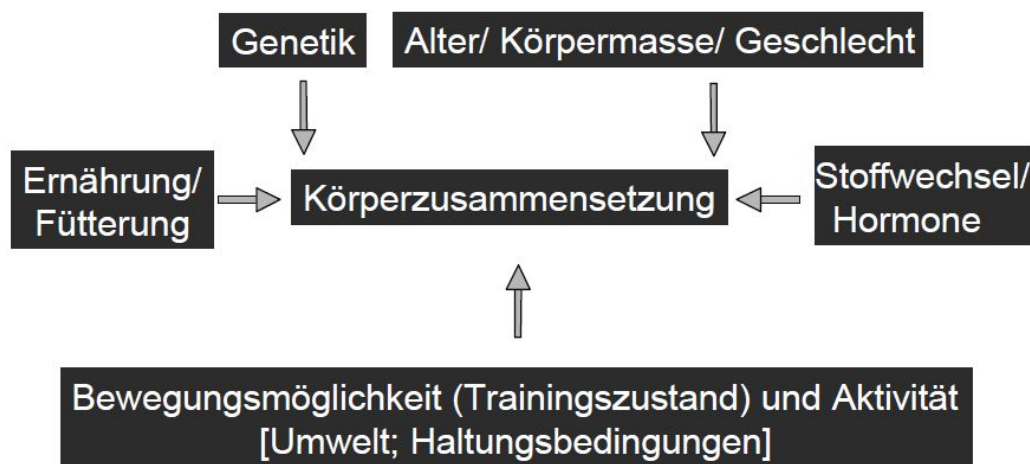


Abbildung 2.1: Mögliche Einflussfaktoren auf die Körperzusammensetzung [A.M. Scholz 2002]

Die Körperzusammensetzung kann v.a. durch das genetische Potential der einzelnen Rassen beeinflusst werden. Frühreife Tiere neigen eher zu einem hohen Fettanteil als spätreife „Fleischschweine“ [Kirchgeßner 2004a]. Zudem sei bezüglich des genetischen Potentials auf die unterschiedlichen Zuchtziele der Rassen im Kapitel 2.1 auf Seite 12 verwiesen. Auch Gendefekte wie z.B. der MHS-Gendefekt verändern die Körperzusammensetzung. So besitzen Schweine mit dieser Mutation einen um 3,2% höheren Muskelfleischanteil als stressstabile Tiere [Huber und Klosowska 2001]. Stressanfällige Tiere zeigen einen geringeren Fettansatz [Biedermann et al. 2000]. Bei Glodek et al. [2004] konnten keine signifikanten Unterschiede in der Mastleistung bezüglich der täglichen Zunahme zwischen den stressanfälligen- und resistenten Ebern festgestellt werden. Dies

könnte durch die geringe Anzahl an untersuchten Tieren erklärt werden. Die absoluten Werte wiesen aber darauf hin, dass stressanfällige Pietrain-Eber eine höhere Mastleistung erzielten. Dagegen zeigten Stamer et al. [2008] bei einer deutlich höheren Probandenzahl, dass die stressstabilen Tiere eine deutlich höhere tägliche Zunahme aufwiesen. Zudem lieferten die stressanfälligen Tiere eine deutlich höhere Summe der wertvollen Teilstücke; unter anderem zeigten sie den höchsten Schinkenanteil und Schulteranteil. Insgesamt hatten die stressanfälligen Tiere den fleischreichsten Schlachtkörper und lagen damit im geschätzten Fleischanteil 0,9 % über dem der stressresistenten Tieren [Glodek et al. 2004]. Der intramuskuläre Fettgehalt spiegelt die bekannte Tatsache wider: Die fleischreichen Schweine besitzen den geringsten intramuskulären Fettgehalt [Bracher-Jakob 2000; Glodek et al. 2004; A.M. Scholz 2002; Weißmann 2009] bzw. den höchsten Anteil von Fleischbeschaffenheitsmängeln [Bracher-Jakob 2000; Stamer et al. 2008]. Heterozygote Tiere (MHS = NP) liegen für Fleischbeschaffenheits- und Stressanfälligkeitsmerkmale zwischen den beiden homozygoten MHS-Genotypen [A.M. Scholz 2002; A. Scholz und Hardge 1994].

Wie aus der Abbildung 2.1 auf der vorherigen Seite ersichtlich, wird die Körperzusammensetzung auch von den saisonalen Bedingungen und der unterschiedlichen Haltungsförm (Warmstall-Außenklimastall, unterschiedlicher Fütterung, Alter ...) beeinflusst.

Ist die Rationsgestaltung beispielsweise durch eine zu geringe Eiweißzufuhr oder einem hohen Energiegehalt unausgewogen, kann der Schlachtkörper verfetten [Bracher-Jakob 2000; Littmann et al. 2006]. Dies lässt sich gut anhand eines Blickes auf die Entwicklung der Körperzusammensetzung während des Wachstums erklären: Der Körper baut zuerst die lebensnotwendigen Organsysteme auf. Das Knochensystem entwickelt sich beispielsweise schneller als Muskulatur und Fett. Innerhalb des Fettgewebes gelten die gleichen Gesetzmäßigkeiten. Körperhöhlenfett, wie z.B. das schützende Nierenfett, wird schneller aufgebaut als subkutaner Fettgewebe. Erst dann folgt der Aufbau von inter- und intramuskulärem Fettgewebe, welches die meiste Zeit zur Bildung benötigt. Bei Energiemangel drehen sich die Verhältnisse genau um, denn dann wird das intramuskuläre Fett zuerst abgebaut [Kirchgeßner 2004a]. Dadurch erklärt sich auch, dass zu Beginn der Mast der messbare Zuwachs zur Hälfte aus Muskeln und zu einem Drittel aus Fett besteht [Kirchgeßner 2004a; Lindermayer et al. 2011]. Am Ende der Mast verhält es sich genau umgekehrt. Durch die Intensität der Ernährung kann zwar nicht diese Reihenfolge verändert werden, aber die Geschwindigkeit mit welcher sich die einzelnen Gewebe entwickeln. Reichliche Ernährung führt durch die früher abgeschlossene Entwicklung zu einem hohen Fettanteil im Schlachtkörper [Kirchgeßner 2004a]. Das bedeutet auch: Mit

steigendem Schlachtgewicht und damit steigendem Alter nimmt der Verfettungsgrad zu [Bernau 2011; Bracher-Jakob 2000; Fischer et al. 2006; Gu et al. 1992; Littmann et al. 2006; Wittmann 2003] und der Magerweichgewebeanteil ab [Bernau 2011]. Bei energiarmer Ernährung kann durch den verlangsamten Gewebeaufbau ein vergleichsweise höherer Muskel- und verringerter Fettanteil am Schlachtkörper erreicht werden [Kirchgeßner 2004a]. Interessanterweise ist die Körperzusammensetzung unabhängig von dem Geburtsgewicht der Tiere. So zeigte eine Studie von Mitchell et al. [2012], dass Ferkel mit einem hohen Geburtsgewicht prozentual am Tag des Absetzens die gleiche Körperzusammensetzung besaßen wie Ferkel mit einem sehr geringen Geburtsgewicht. Fischer et al. [2006] untersuchten die Veränderungen der Schlachtkörperzusammensetzung bei einem Mastendgewicht von 110 kg, 135 kg und 160 kg von insgesamt 126 Schweinen. Die Futterverwertung verschlechterte sich über die gesamte Mastperiode (in Abhängigkeit vom Genotyp) von ca. 2,7 kg (in der unteren Gewichtsklasse) auf 3,1 kg in der Langmast. Dies ging einher mit einer Schlachtkörperverfettung der schwereren Schweine. Die Fettfläche nahm im Vergleich zur Fleischfläche stärker zu, weshalb das Fleisch-/Fettflächenverhältnis stark anstieg. Bei Kastraten stieg dieses von 1 : 0,38 auf 1 : 0,46 [Fischer et al. 2006].

Die Mineralstoffversorgung beeinflusst stark die Futteraufnahme und das Wachstum. So führen beispielsweise im allgemeinen Eisenwerte über 3 mg/Liter Tränkwasser zu verminderten Zunahmen und rachitischen Veränderungen. Die Futterverwertung sinkt generell ab einem Calciumwert von über 500 mg/Liter Trinkwasser. Ebenfalls zu Gewichtsabnahme und Futterverweigerung führt ein Quecksilbergehalt von über 0,001 mg/Liter Tränkwasser oder ein Selengehalt von über 0,05 mg/Liter Tränkwasser [Lindermayer et al. 2009] bzw. <0,1 mg Selen pro kg Futter [Kamphues et al. 1999]). Ein zu hoher (generell über 25 mg Zink pro Liter Tränkwasser) oder ein zu niedriger Zinkgehalt [Brandt et al. 2007] führen zu einer verringerten Futterverwertung und verringerter Tageszunahme [Lindermayer et al. 2009]. Die Grenzwerte werden in der Literatur unterschiedlich angegeben. So werden beispielsweise auch für Mastschweine Werte unter 30 mg Zink pro kg Futter [Kamphues et al. 1999] angegeben.

Desweiteren nimmt auch die Vitaminversorgung Einfluss auf die Körperzusammensetzung. Beispielsweise reduziert ein Mangel an Vitamin B12 die Futteraufnahme und damit die Wachstumsgeschwindigkeit. Auch eine Unterversorgung von Vitamin B2 (Riboflavin, Lactoflavin) führt zu Wachstumseinbußen und Leistungsabfall [Lindermayer et al. 2009]. Aus einer mangelnden Vitamin E-Versorgung (<5 mg/kg Futter) der Mast-

Tabelle 2.1: Benötigtes Verhältnis der bedeutendsten Aminosäuren in der Schweinemast nach [Kamphues et al. 1999]

Lysin	1
Methionin + Cystein	0,6
Threonin	0,6 – 0,65
Tryptophan	0,2

schweine kann eine unterschiedliche Ausprägung der Muskulatur resultieren [Kamphues et al. 1999].

Die Entwicklung des Fleischansatzes ist wie bereits erwähnt stark vom Proteinangebot des Futters abhängig. Der Proteinbedarf variiert je nach Qualität des zugeführten Nahrungsproteins. Je höher die biologische Wertigkeit und Verdaulichkeit ist, desto höher ist die Verwertungsrate. Zudem kann ein Mangel an essentiellen Aminosäuren oder ein unausgewogenes Aminosäuremuster die Proteinverwertung verschlechtern. Bei energiarmeren Futterrationen wird auch Protein verstärkt energetisch genutzt [Kirchgeßner 2004a]. Prinzipiell wird bei Empfehlungen für die Proteinversorgung von einem Mindestgehalt von 5 % Lysin und einer Proteinverdaulichkeit von mindestens 80 % ausgegangen. Das Verhältnis der bedeutensten fünf Aminosäuren, welches zu einer optimalen Verwertungsrate des Futterproteins führen soll, kann in Tabelle 2.1 entnommen werden [Kamphues et al. 1999]. Jedoch gibt es in der Literatur auch hierzu wieder unterschiedliche Angaben. So bestätigen Losand et al. [2003] z.B. das Verhältnis von Lysin zu Methionin und Cystein von 0,6. Lindermayer et al. [2009] geben jedoch einen Cysteinverhältnis von 0,3 bis 0,35 an. Der Threoninanteil kann auch je nach Körpergewicht zwischen 65 % und 70 % des Lysinanteils ausmachen. Der nach Lindermayer et al. [2009] optimale Tryptophananteil variiert zwischen 17 % und 19 %. Das Verhältnis der Aminosäurerelationen von Lysin: Methionin/Cysthein: Threonin: Tryptophan von 1 : 0,6 : 0,65 : 0,18 wird ebenfalls in der Schweinemast empfohlen [Lindermayer et al. 2011; Lindermayer et al. 2012a]. Bei einer Steigerung der Proteinqualität oder durch den Einsatz von synthetischen Aminosäuren sind durchaus höhere Leistungen zu erwarten [Kamphues et al. 1999]. Auf diese Aussage wird im nachfolgenden Abschnitt bei der Ebermast näher eingegangen.

Beim Vergleich von Masttieren im Außenklimastall mit Tieren, die im konventionellen Warmstall gehalten wurden, fielen keine nennenswerten Unterschiede in der Körperzusammensetzung im Herbst/Winter auf. Dagegen wurden im Frühjahr/Sommer bei den Masttieren in den Außenklimaställen deutlich bessere Resultate bezüglich Futtereffizienz, Wachstums- und Knochenmineralparametern festgestellt [Böttinger 2006].

Zudem nehmen Hormone Einfluss auf die Körperzusammensetzung. Dies wurde beispielsweise anhand vieler Studien über die Ebermast beziehungsweise Vergleiche zwischen Kastraten, Ebern und Sauen dokumentiert. So weisen intakte Eber aufgrund der doppelten Dosis an anabolen Steroiden (Androgene und Östrogene) bessere Mast- und Schlachtleistungsparameter auf [Bracher-Jakob 2000]. Auch in diesem Zusammenhang sei auf die Beeinflussung der Körperzusammensetzung durch das Alter hingewiesen. So steigt mit eintretender Pubertät die Konzentration an anabolen Hormonen an, wodurch Jungeber besonders in der Ausmastphase ihr Fleischansatzvermögen ausschöpfen. Kastraten verfetten dagegen früher und stärker [Bracher-Jakob 2000]. Unkastrierte, intakte Eber zeigen im Vergleich zu Kastraten einen erhöhten Magerfleischanteil (bis zu 5 % [Müller et al. 2010], bzw. bis zu 3 % [Lindermayer et al. 2011]). Der Futteraufwand ist dabei deutlich reduziert [Müller et al. 2010] (um bis zu 3,3-23,2 % [Bracher-Jakob 2000] bzw. um bis zu 0,4 Einheiten [Lindermayer et al. 2009]), weshalb Eber eine höhere Aminosäureversorgung benötigen [Bracher-Jakob 2000; Lindermayer et al. 2009]. Bei einer Anhebung der Aminosäurezulage sollte insbesondere der Lysingehalt um 10 % erhöht werden [Lindermayer et al. 2011], wobei auch hierzu unterschiedliche Angaben in der Literatur zu finden sind. So schlug 2010 beispielsweise der Erzeugerring Westfalens in der Anfangsmast 1,29 % Lysin je kg Futter und in der Mittelmast 1,25 % je kg Futter vor. Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft gibt dagegen 2012 einen Gehalt von 1,13 % in der Vormast, 0,92 % in der Mittelmast und 0,79 % in der Endmast an. Die DLG empfahl 2010 1,2 % Lysin pro kg Futter in der Vormast, 0,98 % in der Mittelmast und 0,78 % in der Endmast [Arden 2012]. Versuche mit einem Lysingehalt über der Empfehlung des DLG-Standards für Tiere mit hohem Proteinansatz hinaus, ergaben keine deutliche Verbesserung des Fleischansatz [Lindermayer et al. 2012b; Weißmann et al. 2010]. Versuche mit einer Lysinversorgung in der Anfangsmast unter den DLG-Empfehlungen ergaben, dass die Wirtschaftlichkeit der Schweine unter ökologischer Tierhaltung nicht bedeutend verringert wird [Weißmann et al. 2010].

Intakte Eber zeigen eine annähernd gleiche Tageszunahme wie Kastraten bis zu einem Alter von 100 Lebenstagen. Danach zeigen Eber innerhalb von vier Wochen eine signifikant höhere Gewichtszunahme als Kastraten [Bracher-Jakob 2000; Müller et al. 2010]. Intakte Eber besitzen eine signifikant niedrigere Fettauflage als Kastraten [Bracher-Jakob 2000; Müller et al. 2010]. Der Fleischanteil am Bauch ist um fast 5 % höher als bei Kastraten [Müller et al. 2010]. Die Studie unter Lindermayer et al. [2012a] bestätigte einen Muskelfleisch- und Bauchfleischanteil von etwa 60 % bei Ebern. Dagegen zeigte eine Literaturstudie von Bracher-Jakob [2000], dass die Muskelverteilung bei Ebern eher

die Vorhand und den Kopf betont, der Bauch jedoch einen geringeren Muskelanteil als bei Börgen zeigt. Zudem haben Eber einen deutlich geringeren intramuskulären Fettanteil als Sauen und Kastraten [Bracher-Jakob 2000; Müller et al. 2010]. Mitchell et al. [1998] verglichen mittels DXA die Schlachtkörper von 28 Jungsauen und 37 Ebern mit einem Körpergewicht von etwa 120 kg. Die Jungsauen besitzen demnach mehr Fett (33,9 vs. 27,8 % , $P < 0,001$) und weniger Protein (14,1 zu 16,1 % ; $P < 0,001$) als Eber. Es gab keinen signifikanten Unterschied im Knochenmineralgehalt zwischen den Jungsauen und Ebern. Dagegen zeigen Eber nach Bracher-Jakob [2000] einen um 1,2 % höheren Knochenanteil im Schlachtkörper als Kastraten. Intakte Eber und Kastraten erzielten eine deutlich höhere Tageszunahme als Sauen [Müller et al. 2010]. Weibliche Tiere zeigen im Vergleich zu Kastraten in Studien aus USA, Dänemark, Frankreich und Belgien deutlich weniger intramuskuläres Fettgewebe [Bracher-Jakob 2000] und einen geringeren Fettsatz [Biedermann et al. 2000]. Dass Sauen einen geringeren intramuskulären Fettgehalt als Kastraten aufweisen, bestätigt auch beispielsweise Werner [2009].

2.3 Vergleich der Gesetzestexte zur Schweinehaltung bei konventioneller und ökologischer Tierproduktion

Die „Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung“ [TierSchNutzV 2009] stellt die Basis der Schweinehaltung in Deutschland dar. Für die ökologische Schweinehaltung sind folgende Gesetzestexte von Bedeutung:

1. EG Basisverordnung: Verordnung (EG) Nr. 834/2007 DES RATES vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91
2. EG-Durchführungsbestimmungen: Verordnung (EG) Nr. 889/2008 der KOMMISSION vom 5. September 2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle

Die VO (EG) Nr. 834/2007 stellt die Basis der Öko-Verordnungen dar, welche durch die Detailregelungen der Durchführungsbestimmungen der Verordnung 889/2008 ergänzt wird. Da diese beiden Gesetzestexte nicht zusammengeführt wurden, ist es immer notwendig beide Verordnungen parallel zu beachten [Enzler 2009].

Für die folgende Ausführung ist zu bedenken, dass die Richtlinien einzelner Anbauverbände wie Demeter oder Bioland teilweise noch über die Anforderungen dieser EU-Rechtsvorschriften hinaus gehen.

Wie in der ökologischen müssen die Schweine auch in der konventionellen Haltung Sichtkontakt zu Artgenossen haben [TierSchNutzV 2009]. Schweine brauchen einen trockenen Liegebereich [TierSchNutzV 2009]. In der konventionellen Haltung darf der Liegebereich in Gruppenhaltung einen maximalen Perforationsgrad von 15 % aufweisen, wobei die Spaltengröße genau für jede Altersgruppe definiert ist. Bei Saugferkeln darf demnach eine Spaltenbreite von 11 mm, bei Absatzferkeln 14 mm, bei Zuchtläuferten und Mastschweinen 18 mm und bei Jungsauen, Ebern und Sauen eine Spaltenbreite von 20 mm verwendet werden [TierSchNutzV 2009]. Perforierter Boden im Liegebereich ist dagegen in der Ökologischen Tierhaltung verboten. Zudem muss dieser Bereich mit Einstreu bedeckt werden [VO (EG) Nr. 889/2008]. In der ökologischen Tierhaltung dürfen außerdem auf mindestens der Hälfte der Stallfläche keine Spaltenböden oder Gitterroste angebracht werden, wobei Vollspalten generell nicht erlaubt sind [VO (EG) Nr. 889/2008]. Zur Beschäftigung wird in der ökologischen Landwirtschaft eine Fläche zum Wühlen gefordert [VO (EG) Nr. 889/2008]. Dagegen muss in der konventionellen Schweinehaltung eine ausreichende Menge an Beschäftigungsmaterial, welches vom Schwein bewegt und verändert werden kann, zur Befriedigung des Erkundungstriebes bereit gestellt werden [TierSchNutzV 2009]. Gruppenhaltung ist für ökologisch gehaltene Sauen – außer in der letzten Trächtigkeitsphase und während der Säugezeit – vorgeschrieben [VO (EG) Nr. 889/2008]. Auch in der konventionellen Haltung müssen trächtige Sauen ab dem 29. Trächtigkeitstag bis eine Woche vor dem errechneten Abferkeltermin in Gruppen gehalten werden. Die Haltung von Absatzferkeln, Zuchtläuferten und Mastschweinen ist in beiden Haltungsformen nur in Gruppen erlaubt, wobei Umgruppierungen möglichst zu vermeiden sind [TierSchNutzV 2009]. Das Absatzalter der Ferkel beträgt in der konventionellen Tierhaltung vier Wochen. Falls sie in vollkommen gereinigten Abteilen oder in Abteilen ohne Sauen untergebracht werden, ist das Absetzen sogar schon mit drei Wochen erlaubt [TierSchNutzV 2009]. In der ökologischen Haltung müssen die Ferkel mindestens 40 Tage mit Muttermilch ernährt werden, das bedeutet, dass die Ferkel frühestens mit 41 Tagen abgesetzt werden dürfen. Flat-Deck-Anlagen

Tabelle 2.2: Mindeststall- und freiflächen der VO (EG) Nr. 889/2008, Anhang 3

	Stallfläche [m ² /Tier] (den Tieren zur Verfügung stehende Nettofläche)	Außenfläche [m ² /Tier] (Freilandfläche, außer Weideflächen)
Führende Sauen mit Ferkeln ≤ 40 Tage	7,5	2,5
Mastschweine		
– bis zu 50 kg LM	0,8	0,6
– bis zu 85 kg LM	1,1	0,8
– bis zu 110 kg LM	1,3	1
Ferkel > 40 Tage, ≤ 30 kg LM	0,6	0,4
Zuchtschweine		
– Zuchtsauen	2,5	1,9
– Eber	6	8,0
– Eber bei Natursprung in Buchten	10 m ²	

oder Ferkelkäfige sind zur Haltung von Ferkeln verboten [VO (EG) Nr. 889/2008]. Die Tabelle 2.2 sowie Tabelle 2.3 auf der nächsten Seite zeigen deutlich die im Vergleich zur biologischen Haltung viel geringere Mindestfläche, die jedem Tier in der konventionellen Haltung zur Verfügung steht. Im Gegensatz zur konventionellen Tierhaltung müssen die ökologisch gehaltenen Schweine zusätzlich Zugang zu Freiland, vorzugsweise Weideland, haben, solange die Witterungsbedingungen dies ermöglichen und keine Einschränkungen bzgl. des Gemeinschaftsrechtes oder Gesundheitsschutzes vorliegen [VO (EG) Nr. 834/2007].

2.3.1 Aktuelles Tierschutzlabel

Anfang 2013 wurde das sog. „Tierschutzlabel“ des Deutschen Tierschutzbundes unter Mitwirkung von VION, WIESENHOF, NEULAND e.V., EDEKA, tegut, Gesellschaft für Ressourcenschutz mbH, den Universitäten Göttingen und Kassel, der evangelischen Kirche in Deutschland sowie dem Friedrich-Loeffler-Institut eingeführt. Dieses Label sieht im Vergleich zur konventionellen Tierhaltung tierschutzgerechtere Bedingungen für Mastschweine und Masthühner vor. Diese sind jedoch nicht so anspruchsvoll wie die der ökologischen Tierproduktion. Nach Angaben des Deutschen Tierschutzbundes soll eine

Tabelle 2.3: Mindestfläche pro Tier in konventioneller Haltung gemäß TierSchNutzV im Vergleich zu den Anforderungen der Einstiegs- und Premiumstufe des deutschen Tierschutzbundes e.V. (Tierschutzlabel)

	Konventionelle Haltung	Tierschutzlabel Einstiegsstufe	Tierschutzlabel Premiumstufe
Ferkel: 5 - 10 kg LM 10 - 20 kg LM > 20 kg LM	0,15 m ² 0,2 m ² 0,35 m ²		
Zuchtläufer/Mastschweine: 30 - 50 kg LM 50 - 110 kg LM > 110 kg LM	0,5 m ² 0,75 m ² 1,0 m ²	0,67 m ² 1,0 m ² 1,33 m ²	1,0 m ² 1,5 m ² 2 m ²
Jungsauen: Gruppe bis zu 5 Tiere Gruppe 6 - 39 Tiere Gruppe \geq 40 Tiere	1,85 m ² 1,65 m ² 1,5 m ²		
Sauen: Gruppe bis zu 5 Tiere Gruppe 6 - 39 Tiere Gruppe \geq 40 Tiere	2,5 m ² 2,25 m ² 2,05 m ²		

Teilentwicklung zum verbesserten Tierschutz unterstützt werden, weshalb derzeit zwei Stufen des Labels im Handel sind [Deutscher Tierschutzbund e.V. 2013].

Vergleich der zwei Stufen des Tierschutzlabels

Für beide Labelstufen gilt, dass die Buchten strukturiert sein müssen. Die betäubungslose Kastration ist verboten, wobei für die Betäubung Isofluran kombiniert mit einer Schmerzmittelgabe zugelassen ist. Zudem werden die Ebermast und die „Impfung“ gegen den Ebergeruch akzeptiert. Die Transportdauer der Tiere wird bei beiden Labels auf maximal vier Stunden begrenzt. Die Schlachtung muss kontrolliert sein, die Tötung darf nur an sicher und tief betäubten Tieren durchgeführt werden. Es werden tierbezogene Kriterien im Betrieb und auf dem Schlachthof eingeführt, die konkrete Rückschlüsse auf das Wohlbefinden des Tieres möglich machen sollen. Diese Parameter sind z.B. Mortalität, Arzneimiteleinsatz, Verletzungen, Lungenentzündung und Leberveränderungen. Bis dato wurden aber noch keine konkreten Zahlen dazu veröffentlicht. Es gibt gravierende Unterschiede zwischen den beiden Tierschutzlabels. So werden, wie in der Tabelle 2.3 auf der vorherigen Seite dargestellt, etwa ein Drittel mehr Platz in der Einstiegsstufe und doppelt so viel Mindestfläche in der Premiumstufe als in der konventionellen Tierhaltung vorgeschrieben. In der Einstiegsstufe darf der Boden perforiert sein, der Liegebereich muss jedoch planbefestigt sein und mit Minimaleinstreu oder einer weichen Matte ausgestattet sein. Dabei ist eine zweijährige Übergangsfrist festgesetzt worden. In der Premiumstufe muss ein perforierter Aktivitätsbereich vorhanden sein und eine Trennung von Aktivitäts-, Liege- und Kotbereich gegeben sein. Dabei ist der Liegebereich mit Langstroh einzustreuen. In der Einstiegsstufe dagegen muss ein Beschäftigungsautomat mit Stroh angeboten werden. Das Klima in der Einstiegsstufe ist mittels Luftkühlung oder Wasservernebelung zu regeln, während die Schweine in der Premiumstufe verschiedene Temperaturzonen durch Auslauf- oder Offenstallhaltung angeboten bekommen müssen. Bezüglich der Bestandsobergrenze werden 3.000 Schweineplätze in der Einstiegsstufe und lediglich 950 Schweinemastplätze in der Premiumstufe erlaubt. Das Kürzen der Schwänze ist in beiden Stufen verboten, jedoch besteht eine zweijährige Übergangsfrist in der Einstiegsstufe. Bezüglich dem Anwendungsverbot von gentechnisch verändertem Futter wurde für die Einstiegsstufe eine dreijährige Übergangsfrist festgelegt [Deutscher Tierschutzbund e.V. 2013]. Vor allem die Einführung des Einstiegslabels ist jedoch stark in Kritik geraten. E. Niemann vom Landesverband Niedersachsen der Arbeitsgemeinschaft bäuerliche Landwirtschaft (AbL) wies beispielsweise darauf hin, dass die Vorgaben der Einstiegsvariante die Verbraucher täuschen würden. Demnach

würde der Tierschutz in dieser Stufe nicht ausreichend verbessert werden [Deter 2013]. C. Manthey von der Verbraucherzentrale Baden-Württemberg kritisiert ebenfalls die Irreführungs- und Täuschungspotentiale der zahlreichen Siegel und Label für angeblich verbesserten Tierschutz [SWR Fernsehen, Redaktion MARKTCHECK 2013]. Es würden nach wie vor Klauenverletzungen aufgrund der Spaltenböden sowie auch Lungenschäden durch Einatmung der Gülle unterhalb der Spalten entstehen, wenn lediglich vorgegeben werde, die Liegebereiche besser zu belüften und mit Gummimatten zu versehen. Er verurteilt zudem den langen Umstellungszeitraum von drei Jahren zur Verfütterung von gentechnikfreier Nahrung. Aufgrund der Täuschung der Verbraucher, welche eventuell vermehrt Produkte mit dem vermeintlich besonders tierschutzgerechten Label konsumieren, wäre auch ein Absatzeinbruch für ökologisch erzeugte Produkte denkbar. Dass die Erzeugerpreise für die Labelprodukte nicht vorgeschrieben werden, wird ebenfalls negativ beurteilt. Außerdem seien die Mäster, welche sich für die Ebermast entscheiden, an die drei führenden Schlachtkonzerne Tönnies, VION und Westfleisch, die eine Abnahmegarantie für Eberfleisch zusicherten [agrarheute.com 2012], gebunden [Deter 2013]. Weiterhin wird öffentlich kritisiert, dass bislang Fleisch mit nur einem Stern verkauft wird, wodurch keine tiergerechtere Haltung bescheinigt würde. Dies scheint auch der Deutsche Tierschutzbund einzuräumen. Ein weiterer Schwachpunkt sind fehlende Vorgaben bezüglich des konkreten Ablaufes der Kontrollen [SWR Fernsehen, Redaktion MARKTCHECK 2013].

2.4 Probleme der ökologischen Schweineproduktion

Die Fütterung von Schweinen unter ökologischen Bedingungen ist, wie nachfolgend dargestellt, sehr streng reglementiert.

Prinzipiell müssen die Futtermittel zum großen Teil aus dem Betrieb stammen, welcher auch die Tiere hält. Ökologische Betriebe im gleichen Gebiet oder teilweise auch Betriebe, welche sich in der Umstellung auf ökologischen Landbau befinden (bezogen auf die Trockenmasse max. 30 % der Futterration), können ebenfalls als Futterlieferant dienen. Stammen die Umstellungsfuttermittel aus der betriebseigenen Einheit, so kann der Prozentanteil auf 60 % erhöht werden [VO (EG) Nr. 889/2008]. Die Verwendung von genetisch veränderten Erzeugnissen ist nicht erlaubt [VO (EG) Nr. 834/2007]. Die Tiere müssen entsprechend ihres ernährungsphysiologischen Bedarfs mit biologischen Futtermitteln gefüttert werden. Dabei gibt es Ausnahmeregelungen, welche die begrenzte Ernährung mit nicht biologischen Futtermitteln erlauben, falls der Landwirt nicht

in der Lage ist, sich ausschließlich mit biologisch erzeugten Futtermitteln zu versorgen. So trat z.B. 2012 eine zusätzliche Verordnung in Kraft, welche auf die Problematik der schwierigen Beschaffung von biologischen Eiweißträgern eingeht. Deshalb ist es für die Kalenderjahre 2012-2014 erlaubt, höchstens 5 % der Trockenmasse der Futtermittel mit nicht ökologischen Eiweißträgern zu decken [VO (EG) Nr. 505/2012].

Im Gegensatz zur konventionellen Schweinehaltung muss in der Tagesration für ökologisch gehaltene Tiere Raufutter enthalten sein [VO (EG) Nr. 834/2007]. Da die Fütterung von mehreren Komponenten mehr Arbeitsaufwand bedeutet, ist die konventionelle Haltung durch die Gabe von einem Alleinfuttermittel klar im Vorteil [Arp und Naumann 2001]. Zudem bedarf es für eine bedarfsgerechte Nährstoffversorgung einer genauen Nährstoffanalyse der einzelnen Futterkomponenten [Bussemas et al. 2011; Sundrum et al. 2005]. Bezüglich der Praktikabilität, des Nährstoffgehaltes und der Akzeptanz der Schweine variieren die unterschiedlichen Raufuttermittel stark. So hat beispielsweise Kleegrassilage, Maissilage und Topinambur einen deutlich höheren Nährstoffgehalt und damit auch eine bessere Akzeptanz, resultierend in einer höheren Futteraufnahme, als Stroh oder Heu. Dafür ist der Arbeitszeitaufwand letztgenannter niedriger. Maissilage und Topinambur wird außerdem ein Clostridien-supprimierender-Effekt nachgesagt [Bussemas et al. 2011].

Gerade die Vorgaben zur Fütterung in der ökologischen Schweinehaltung werden sehr kritisch beurteilt. Zum einen sind die Gesetzestexte sehr umfangreich und die Regelwerke sehr starr, sodass kaum Raum für Innovationen vorhanden sind. Zum anderen ist ein Verbot der Fütterung von definierten Nebenprodukten aus industrieller Produktion und von synthetischen Zusatzstoffen (besonders synthetischer Aminosäuren) schwer nachzuvollziehen und stellt damit eine große Hürde für die Fleischerzeugung dar [Branscheid 2012]. Auch Löffler und Filbrandt [2012] bestätigt die Problematik der strengen Futtervorgaben. In Norwegen beispielsweise ist die ökologische Tierproduktion aufgrund der bürokratischen Vorgaben, den sich häufig veränderten, verschärften, komplizierten Reglementierungen und Kontrollen rückläufig. Einige Bauern arbeiten weiterhin größtenteils nach den ökologischen Richtlinien, aber vermarkten die Produkte bevorzugt direkt und umgehen damit die langwierigen Kontrollen und Zertifizierungen [Koesling und Loes 2009].

Trotz der starren Vorgaben der ökologischen Schweineproduktion, was u.a. die Auswahl an Futtermittel, Desinfektionsmittel, Arzneimittel betrifft, ist in praxi eine große Heterogenität in den Prozess- und Produktqualitäten vorhanden. Aus den Vorgaben

lassen sich nämlich keine einheitlichen Betriebsstrukturen und Produktionsweisen ableiten [Sundrum 2011].

So werden beispielsweise keine konkreten Schweinerassen aufgeführt und die Fütterung ist abhängig von den Möglichkeiten vor Ort. Auch Erfahrungen und Studien bezüglich ökologisch hergestellter Futtermittel müssen erst noch zu entsprechenden Datenpools, zur Tabellierung von Futterwerten, zusammengeführt werden [Arp und Naumann 2001]. Es wurden bereits etliche Studien zur Pflanzenzüchtung gegen die Problematik der Aminosäureversorgung in der Schweinemast [Schumacher et al. 2009] und viele Fütterungsversuche mit Ökorationen durchgeführt [Stalljohann 2011]. Sojaextraktionsschrote und andere Extraktionsschrote dürfen im Gegensatz zur konventionellen Haltung nicht im ökologischen Anbau verwendet werden [VO (EG) Nr. 889/2008]. Der Bedarf an Aminosäuren muss überwiegend durch Körnerleguminosen gedeckt werden. Häufig werden Ackerbohnen und Erbsen eingesetzt, die wegen ihres hohen Lysingehaltes gut mit methioninreicherem Getreide kombiniert werden können. Lupinen können ebenfalls besonders an ertragsärmeren Standorten gut als pflanzliche Eiweißlieferanten dienen. Kartoffeleiweiß, Magermilch/-pulver und Bierhefe besitzen auch eine gute Proteinqualität, jedoch stehen sie nur in begrenzter Mengen zur Verfügung, wenn sie zugekauft werden müssen [Arp und Naumann 2001].

Die mangelnde Verfügbarkeit der hochwertigen Proteinträger in der ökologischen Futtermittelproduktion resultiert in eine inadäquate Versorgung mit Lysin und Methionin [Schumacher et al. 2009; Sundrum 2011]. Dadurch verfetten die hochleistenden Mastschweine unter ökologischer Haltung schneller als unter konventioneller [Weißmann 2009; Weißmann et al. 2010]. Tendenziell zeigen die Tiere unter restriktiven Futterrationen mit mangelnder Aminosäureversorgung verringerte Mastleistungsdaten (beispielsweise eine reduzierte Futterverwertung) und weniger Muskelfleischanteile. Die Fleischqualität ist jedoch aufgrund eines erhöhten intramuskulären Fettanteils deutlich verbessert, was allerdings die ökonomischen Einbußen durch die verminderte Muskelfleischfülle nicht ausgleichen kann [Weißmann 2009]. Andererseits belegen Weißmann et al. [2010], dass es mit 100 % ökologischem Futtermittel mit einem geringeren als dem von der DLG empfohlenen Lysineinsatz in der Anfangsmast trotzdem möglich ist, wirtschaftlich tragbare Schlachtleistungsqualitäten und Mastleistungen zu erzielen. Dies wird durch ein kompensatorisches Wachstum in der Endmast begründet [Weißmann et al. 2010]. Eine Möglichkeit mit der unzureichenden Aminosäureversorgung in der ökologischen Landwirtschaft zurechtzukommen, ist der Einsatz von langsam wachsenden Schweinen, welche somit geringere Ernährungsansprüche haben. Jedoch gibt es noch wenig Erfahrung mit

der Verwendung langsam wachsender Schweinerassen, sodass es weitere Forschungen benötigt um den negativen Einflüssen auf die Schlachtqualität, z.B. einer Verfettung des Schlachtkörpers, vorzubeugen [Sundrum et al. 2005].

Die heutigen Rassen wurden mit dem Ziel eines sehr hohen Leistungsniveaus gezüchtet und stellen dadurch höhere Ansprüche an die Proteinversorgung. Bei dauerhafter Fehl- und Unterversorgung leidet nicht nur die Leistung sondern auch die Immunabwehr [Stalljohann 2011]. Weißmann [2011] widerspricht dieser These, dass eine unausgewogene Ernährung in Form einer mangelnden Proteinversorgung die Gesundheit der Mastschweine ernsthaft gefährden könnte. Diese Ernährungsform führe vielmehr zu Wirtschaftseinbußen aufgrund eines verminderten Magerfleischanteils. Sundrum et al. [2005] präzisieren diese These: Unter rein ökologischer Ernährung ist die Muskelansatzfähigkeit zwar geringer, doch stehen zur Fütterung von Mastschweinen ausreichend Alternativen zu synthetischen Aminosäuren und Sojaextraktionsschrot wie z.B. Sojakuchen, Rapskuchen und Magermilchpulver aus ökologischer Herkunft zur Verfügung, sodass keine schwerwiegenden gesundheitlichen Probleme resultieren. Ferkel haben aber durchaus höhere Anforderungen an Aminosäuren. Diese besitzen bei unausgeglichener Ernährung eine erhöhte Prädisposition, an Diarrhö zu erkranken. Auch bei Sauen kann eine Mangelernährung zu einer verminderten Reproduktionsleistung und Immunsuppression führen. Deshalb sind die Erzeuger besonders bei Ferkeln gefordert alternative Strategien zur Versorgung mit hochwertigen Aminosäuren unter Berücksichtigung finanzieller Aspekte zu finden [Sundrum et al. 2005]. Dies erklärt auch ein weiteres Problem der ökologischen Schweinefleischproduktion: Es mangelt an ferkelproduzierenden Betrieben. Dies führt dazu, dass der Schweinemarktzyklus nicht aufrecht gehalten werden kann und einige Produzenten sich aus der ökologischen Herstellung wieder zurückziehen [Arp und Naumann 2001; Löffler und Filbrandt 2012; Westphal und Isenberg 2012]. Gerade der Einstieg in die ökologische Ferkelerzeugung ist nicht immer rentabel. Vor allem wenn in einen Stallneubau investiert werden muss, ist das erfolgreiche Wirtschaften sehr stark abhängig von der Geschicklichkeit des Personals und den Ferkelpreisen und keinesfalls erfolgsversprechend [Lange und Möller 2009]. Der Parasitendruck stellt im Gegensatz zur konventionellen Haltung eine durchaus höhere Gefahr für die Gesundheit der ökologischen Freilandtiere dar [Früh et al. 2011], wenn die beweideten Flächen nicht regelmäßig gewechselt werden [Weißmann 2009]. Zudem ist eine präventive Gabe von chemisch-synthetischen allopathischen Arzneimitteln verboten. So dürfen beispielsweise keine Kokzidiostatika verwendet werden [VO (EG) Nr. 889/2008].

Zusammenfassung

Die wirtschaftlichen Nachteile der ökologischen im Vergleich zur konventionellen Schweinehaltung sind offensichtlich [Sundrum 2011]. So ist ein Arbeitsmehraufwand durch zeitintensives Füttern, Ausmisten und Einstreuen der Stallungen zu kalkulieren. Zudem wird aufgrund des höheren Platzbedarfes ein vergleichsweise niedriges Produktionsniveau erreicht [Arp und Naumann 2001; Jais et al. 2009; Sundrum 2011]. Auch die höheren Futtermittelkosten senken die Betriebswirtschaftlichkeit bei ökologischer Schweinehaltung [Arp und Naumann 2001; Sundrum 2011; Westphal und Isenberg 2012]. Zwar sind ökologische Produkte meist durch eine bessere Fleischqualität gekennzeichnet, doch fehlen konkrete Zielvorgaben hinsichtlich der Qualitätsmerkmale, die dem Landwirt akzeptable, kostendeckende Marktpreise erwirtschaften ließen [Sundrum 2011]. Daher ist es nicht verwunderlich, dass der Bio-Schweinemarkt nur 0,5 % der gesamten Schweineproduktion in Deutschland beträgt [Löffler und Filbrandt 2012].

2.5 Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie

2.5.1 Funktionsweise

Grundprinzip

Die Dualenergie Röntgenabsorptiometrie (DXA, dual energy X-ray absorptiometry) ist eine humanmedizinische Untersuchungsmethode, bei der mittels Röntgenstrahlung ursprünglich nur die Knochendichtemessungen (z.B. zur Analyse der Osteoporosegefahr) vorgenommen wurden [Blake und Fogelman 1997; Fatima und Zaman 2009; Jebb 1997; A.M. Scholz und Baulain 2009]. Heutzutage ist die Technik als Standard- bzw. Referenzmethode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung etabliert [Pandey et al. 2011; Plank 2005]. Mit Hilfe dieser Technik kann verhältnismäßig schnell der Knochenmineraldichtegehalt, das Fett- und Magerweichgewebe sowie die Gesamtgewebemasse von ausgewählten Körperbereichen bzw. des gesamten Körpers bestimmt werden. Die Bedienung des Gerätes ist im Gegensatz zur Handhabung der Magnetresonanztomographie (MRT) relativ einfach [A.M. Scholz 2002]. Die für die Untersuchung verwendete Röntgenstrahlung stellt jedoch ein gewisses, wenn auch sehr kleines Gesundheitsrisiko dar. Die Anschaffungskosten sind im Gegensatz zum MRT-Gerät moderat und die laufenden Kosten sehr niedrig. Die Auswertung der Ergebnisse ist sehr genau, einfach und schnell [A.M. Scholz und Baulain 2009]. Allerdings können verschiedene Faktoren, wie

beispielsweise die Saisonalität, die Genauigkeit der Knochendichtemessung beeinflussen. So steigt im Sommer bzw. Herbst die Knochenmineraldichte (beim Menschen) an, während sie im Winter bzw. Frühjahr wieder abfällt [Rico et al. 1994].

Prinzipiell besteht ein DXA-Gerät aus einem Untersuchungstisch, auf den der Patient gelegt wird. In dem Tisch des GE Lunar iDXA bzw. DPX-IQ ist die Röntgenquelle integriert. Die von dieser Quelle ausgehende Strahlung wird mit einem Filter in zwei definierte unterschiedliche Energieniveaus (I_o^1 , I_o^2) aufgespalten und in Richtung des Patienten abgegeben. Dabei wird der zu untersuchende Körper mäanderförmig von rostral nach caudal durchscannt. Die Strahlung durchdringt den zu untersuchenden Körper und wird je nach Art der Gewebeinteraktion verändert. Die Strahlen werden bei fest definierter Anfangsintensität durch die Weglänge, die Dichte des Körpers und durch Streuung unterschiedlich stark abgeschwächt und abgelenkt [GE Lunar 2010]. Über dem Patiententisch befindet sich ein beweglicher Scannerarm. Er enthält einen Laser, der die Lokalisation des Startpunktes anzeigt. Ein Sensor detektiert die abgeschwächte Röntgenstrahlung getrennt für jedes Ausgangsenergieniveau [GE Lunar 2010]. Daraus werden die Massenschwächungskoeffizienten [μ^1 , μ^2] berechnet.

Berechnung des Knochenmineral-, Fett- und Magerweichgewebegehaltes

Um die Berechnungen für das DXA-Verfahren nachvollziehen zu können, wird zunächst von einem 3-Komponentenmodell ausgegangen. Das bedeutet, dass der Körper nur aus Knochenmineral-, Magerweich- (lean soft tissue) und Fettgewebe besteht. Zu beachten ist die Tatsache, dass Magerweichgewebe nicht nur Muskelmasse (Protein), sondern auch Mineralstoffe, Kohlenhydrate und Wasser enthält. Weichgewebe (soft tissue) dagegen stellt die Summe aus Magerweichgewebe und Fett dar [Pietrobelli et al. 1996].

Da das DXA-Gerät nur mit zwei verschiedenen Energieniveaus arbeitet und demnach nur zwei Komponenten unterscheiden kann, bedient man sich für die Berechnung der drei Gewebearten einer einfachen Lösung.

Zuerst überprüft das Gerät jeden zu untersuchenden Pixel (Scan- oder Bildpunkt), ob Knochengewebe vorhanden ist. Dies geschieht auf Basis der unterschiedlichen Röntgenschwächungskoeffizienten (R-Werte). Dieser Koeffizient berechnet sich durch die Teilung des Massenschwächungskoeffizienten μ^1 des niedrigeren Energieniveaus durch den Massenschwächungskoeffizienten μ^2 des höheren Energieniveaus: $R = \mu^1/\mu^2$. Dieser ist für jede chemische Verbindung charakteristisch. Die R -Werte, die für jeden Pixel errechnet werden, unterscheiden sich stark voneinander sobald Knochen in einem Pixel vorkommt [Laskey und Phil 1996]. Denn Knochenmineral hat mit $R > 2,8$ einen wesentlich

höheren Wert als Fett ($R \sim 1,2$) oder Magerweichgewebe ($R \sim 1,35$) [A.M. Scholz und Förster 2006].

Die Messung der Einzelkomponenten von Weichgewebe (also Fett und Magerweichgewebe) kann nur in Gewebe ohne Knochen erfolgen. Ist also kein Knochen in dem Pixel vorhanden, so unterscheidet die DXA-Technik zwischen Fett- und Magerweichgewebe und berechnet die Masse der beiden Komponenten sowie deren prozentuale Zusammensetzung. Ist in einem anderen Bildpunkt Knochengewebe vorhanden, so unterscheidet das Gerät für diesen Pixel nur noch zwischen Knochenmineral- und Weichgewebe und berechnet deren jeweilige Masse. Für die darauffolgende Kalkulation der zwei Bestandteile von Weichgewebe setzt der Programmierer des DXA-Gerätes fest, dass das umliegende Weichgewebe die gleiche prozentuale Zusammensetzung hat wie das Gewebe, welches direkt am Knochen liegt.

Zur Bestimmung ob in einem Pixel Knochen enthalten ist oder nicht bietet die Software ein zusätzliches Kontrollsystem. Dieses legt fest, dass Knochengewebe nicht spontan in vereinzelt Pixeln vorkommt sondern immer in größeren Bildbereichen erscheint. Dadurch werden z.B. kleine Calciumablagerungen in Blutgefäßen nicht als Knochen bewertet [Pietrobelli et al. 1996].

Folgende Gleichungen beschreiben die Berechnung der Knochenmineralmasse (m_{bone}) und die Masse von Weichgewebe (m_{st}) [Laskey und Phil 1996].

$$m_{bone} = \frac{R_{st} \ln(I^2/I_o^2) - \ln(I^1/I_o^1)}{\mu_{bone}^1 - \mu_{bone}^2 R_{st}} \quad (2.1)$$

$$m_{st} = \frac{\ln(I^1/I_o^1) - R_{bone} \ln(I^2/I_o^2)}{R_{bone} \mu_{st}^2 - \mu_{st}^1} \quad (2.2)$$

μ : Massenschwächungskoeffizienten

$_{st}$: soft tissue

$_{bone}$: Knochen

R_{st} : Röntgenschwächungskoeffizient von soft tissue $R_{st} = \mu_{st}^1 / \mu_{st}^2$

R_{bone} : Röntgenschwächungskoeffizient von Knochenmineral $R_{bone} = \mu_{bone}^1 / \mu_{bone}^2$

I_o^1 : Energie des ersten, niedrigen, nicht abgeschwächten Röntgenstrahls

I_o^2 : Energie des zweiten, hohen, nicht abgeschwächten Röntgenstrahls

I^1 : Energie des ersten, niedrigen, abgeschwächten Röntgenstrahls

I^2 : Energie des zweiten, hohen, abgeschwächten Röntgenstrahls

Tabelle 2.4: Unterschiede zwischen den zwei verwendeten GE Lunar DXA-Geräten

technische Unterschiede	DPX-IQ	iDXA
Detektor	Photomultiplier	Cadmium-Zink-Tellurit
Filter	Cerium	Samarium
Energiepeaks	38 keV und 70 keV	44 keV und 72 keV
Strahlensystem	Pencil Beam	Fan Beam
Röntgenröhre	76 kV, max. 5 mA	100 kV, max. 2,5 mA

DXA-Geräte für die vorliegende Doktorarbeit

Für die Messungen dieser Arbeit wurden zwei unterschiedliche DXA-Geräte verwendet. Von November 2009 bis Dezember 2010 wurde im LVG Oberschleißheim der GE Lunar DPX-IQ und ab Dezember 2010 der GE Lunar iDXA-Scanner eingesetzt. Der iDXA-Scanner zeichnet sich durch eine bessere Auflösung aus, was eine bessere Differenzierung zwischen Knochen und Weichgewebe erlaubt. Zur Auswertung der Ergebnisse wurden die jeweiligen Messwerte rechnerisch korrigiert. Auf die technischen Unterschiede wird in der Tabelle 2.4 näher eingegangen [Persönliche Korrespondenz mit der Firma GE Healthcare, Solingen; 09.05.2012].

Laut Mahlein [persönliche Mitteilung, 2012] (Firma GE Healthcare GmbH, Solingen) wurde bei der Installation des iDXA eine Primärkalibrierung durchgeführt. Dabei wurden Messungen mit einem Aluminium-Phantom als Referenzmodell für Knochen und einer Plexiglastreppe als Referenz für Weichgewebe durchgeführt, welche verschiedenen dicke Teilstücke aufwiesen. Die Ergebnisse werden vom Gerät als Referenzdaten verwendet und zuvor definierten, konkreten Körperzusammensetzungen zugeordnet.

2.5.2 Verwendung zur Bestimmung der Körperzusammensetzung beim Schwein

Mitchell et al. [1996] verglichen die Korrelation der Ergebnisse aus dem DXA-Gerät (DPX-L, Lunar Corporation, Madison, WI) mit den Ergebnissen der chemischen Analyse. Dabei wurden 48 weibliche Schweine, welche ein Körpergewicht von 10,2-60,5 kg aufwiesen, untersucht. Es stellte sich heraus, dass zum einen die Körperzusammensetzung als Summe aus Knochenmineralgehalt, Fett- und Magerweichgewebe sehr gut zum ursprünglichen Körpergewicht passt ($r = 0,999$; Least acceptable concordance correlation: 0,989). Die absoluten Werte des Ganzkörperfettes unterschieden sich nicht signifikant von den Ergebnissen aus der chemischen Analyse. Allerdings schien das DXA-Gerät den

Körperfettanteil bei Tieren, mit einem Körperfettanteil $> 20\%$, zu überschätzen und unterschätzte den Fettanteil bei mageren Tieren mit einem Körperfettanteil $< 20\%$. Die Beziehung zwischen dem mittels DXA errechneten Magerweichgewebe und dem Körperproteingehalt aus der chemischen Analyse, welche mit Hilfe einer mathematischen Gleichung verglichen werden kann, ist sehr hoch ($r = 0,968$). Zudem wurden zwei Teilbereiche mittels DXA analysiert: die Vordergliedmaßen und die Hintergliedmaßen. Beide Gliedmaßen wurden manuell nur anhand der knöchernen Struktur definiert und vom Rumpf abgetrennt. Es stellte sich eine hohe Korrelation zwischen der Zusammensetzung der Hintergliedmaßen und der chemischen Analyse heraus und erwartungsgemäß eine schlechtere für die Vordergliedmaßen. Der Unterschied erklärt sich durch die manuelle Einteilung der Teilbereiche nur mittels der auf dem zweidimensionalen Bild des DXA-Gerätes erkennbaren knöchernen Strukturen der Vordergliedmaßen. Das darin enthaltene Weichgewebe kann nicht nur das Weichgewebe der Vordergliedmaße enthalten, sondern auch von einem Teil des Rumpfes überlagert worden sein. Somit ist es schwer möglich, die mittels DXA festgelegte Region anatomisch für die chemische Analyse adäquat zu übertragen. Insgesamt stellt zur Ermittlung der Körperzusammensetzung das nicht-invasive Verfahren mittels DXA eine gute Alternative zur invasiven, chemischen Analyse dar. Bezüglich der Teilanalysen muss die Einteilung in Körperregionen gut überlegt sein.

Auch A.M. Scholz und Förster [2006] bestätigten, dass die prozentualen Ergebnisse aus der DXA-Messung stark vom Körpergewicht des Probanden abhängig sind. Zur Evaluierung des Einsatzes von DXA für die Ermittlung der Körperzusammensetzung wurden insgesamt 121 Schweine in zwei Gewichtsgruppen eingeteilt (I = 30–50 kg und II = 70–90 kg Körpergewicht) und mittels DXA (GE Lunar DPX-IQ Scanner) und anschließend mittels Zerlegung untersucht. Die Studie ergab eine hohe Beziehung zwischen den Gewebemassen von Fett, Muskelfleisch und Knochen bzgl. der DXA-Ergebnisse und den Referenzteilstücken in beiden Gewichtsklassen. Zwischen dem Fettgehalt [%] der Referenzteilstücke und den DXA-Messungen ergaben sich höhere Beziehungen ($R^2 = 0,82$; RMSE = 1,47) in der höheren Gewichtsklasse II als in der niedrigeren Gewichtsklasse I. Die Beziehung der beiden Methoden bzgl. des Muskelfleischanteils war in Gruppe II mit $R^2 = 0,72$ (RMSE = 0,75) etwas niedriger. Speziell der Knochenmineralanteil aus der DXA-Analyse zeigte erwartungsgemäß keine hohe Beziehung ($R^2 = 0,3$; RMSE = 0,64). Die Zerlegung erreichte deutlich höhere Werte, da hierbei das komplette Knochensystem bewertet wird. Es enthält nicht nur den mittels DXA exakt gemessenen Mineralgehalt (BMC), sondern auch das Knochenmark und Wasseranteile. Zudem muss bedacht werden, dass der Vergleich mit der Zerlegung teilweise sehr schwierig ist. So werden

bei der Zerlegung z.B. Teile der Schwarte (Haut) zum Fettgewebe gezählt, während bei der Untersuchung mittels DXA (je nach Modell) nur Lipide bzw. Fettsäuren und Triglyzeride zur Fettmasse (welche inter- und intramuskulär, subkutan oder teilweise im Knochen vorkommen) zählen. Andererseits enthält das Magerweichgewebe aus der DXA-Analyse nicht nur Muskelgewebe (Wasser, Protein, Glykogen), sondern auch andere nicht-lipidenthaltende Bestandteile, wie etwa von der Schwarte, Sehnen oder nicht-knochenassoziierte Mineralstoffe. Daher lagen die Ergebnisse der DXA-Analyse für das Magerweichgewebe oberhalb der Muskelfleischanteile der Referenzteilstücke. Höhere Beziehungen konnten anhand der absoluten Gewebemassen anstatt der Angabe in Prozent festgestellt werden. So zeigte das Magerweichgewebe bzw. die Muskelfleischmassen der korrespondierenden Gewebemasse aus der Teilstückzerlegung im Vergleich zur DXA-Analyse ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,94$ (RMSE = 414,04) bzw. 0,93 (RMSE = 424,89); für Fett $R^2 = 0,78$ (RMSE = 244,40) und für den Knochenmineralgehalt den verminderten Wert $R^2 = 0,73$ (RMSE = 82,39). Generell kann aber auch hieraus gefolgert werden, dass DXA eine geeignete Messmethode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung darstellt. Jedoch kann der prozentuale Fett- und Muskelfleischanteil mit der verwendeten Technik erst ab einem Gewicht von 50 kg genauer bestimmt werden [A.M. Scholz und Förster 2006].

Eine weitere interessante Studie wurde von Mitchell et al. [2002] veröffentlicht, deren Ziel es unter anderem war, die Ganzkörperzusammensetzung von Schweinen mittels DXA-Teilanalysen (also regional definierten Scanbereichen) vorherzusagen. Dazu wurden 212 Schweine mit einem Körpergewicht zwischen 56-138 kg mit dem Lunar DPX-L (Madison, WI) gescannt und 14 Querschnitte mit einer Dicke von je 57,6 mm definiert: fünf Querschnitte im Schulter/Thoraxbereich (S1 - S5), vier in der regio abdominis (L1 - L4) und fünf in der Region der Hintergliedmaße bzw. des Schinkens (H1 - H5). Bezüglich des prozentualen Fettgehaltes variierten die Beziehungen zwischen den einzelnen Querschnitten und dem Gesamtkörper von $R^2 = 0,78$ (SEE = 3,3) bis 0,97 (SEE = 1,3). Zwischen dem prozentualen Fettgehalt der einzelnen Querschnitte und dem prozentualen Gesamtkörperfettgehalt, welche chemisch analysiert wurde, ergab sich eine Beziehung zwischen $R^2 = 0,71$ (SEE = 3,2) und 0,85 (SEE = 2,33). Innerhalb der Querschnitte zeigte zum Beispiel S1 (der erste Querschnitt im Thoraxbereich) den höchsten Fettgehalt und L3 (also der dritte Querschnitt im Lendenbereich) den geringsten Fettgehalt, während S4 (Schulterregion) die höchste Beziehung zur DXA-Ganzkörperuntersuchung aufwies. Die Gesamtkörpermessung in Prozent ergab einen geringeren Fettanteil (21,29 %) als die Werte der chemischen Analyse (23,98 %). Die Beziehung zwischen dem DXA-

Magerweichgewebeanteil in den einzelnen Querschnitten und den chemischen Analyseergebnissen (Gesamtkörperprotein [%]) lag zwischen $R^2 = 0,48$ ($SEE = 1,1$) und $0,60$ ($SEE = 0,96$). Zusammenfassend ist es mit hoher Genauigkeit möglich die Ganzkörperzusammensetzung mittels regional definierter DXA-Teilanalysen zu schätzen.

Zum gleichen Ergebnis kam Mitchell et al. [2003]. Die Untersuchung fand an 262 Schlachtkörperhälften statt. Insgesamt wurde mittels DXA (GE Lunar, DPX-L) der Körper in 14 Scheiben (57,6 mm) eingeteilt: sechs Scheiben im Bereich der Schulter/Thorax, drei in der Lendenregion und fünf in der Schinkenregion. Es stellte sich heraus, dass im Vergleich zur chemischen Analyse eine einzige Scheibe in der Schinkenregion ausreichend ist, um den prozentualen Fett- und Magergehalt in der Schlachtkörperhälfte mit $R^2 = 0,81$ ($SEE = 2,04$) vorher zu sagen. Die Schlachtkörperhälfte zeigte einen prozentualen Fettgehalt von $24,35\% \pm 7,25\%$. Die letzte Scheibe (S5) der Schulter/Thoraxregion wies mit $24,43\% \pm 7,25\%$ die höchste Beziehung zum Fettgehalt zur DXA-Ganzkörperuntersuchung auf.

Mitchell et al. [2001b] analysierten die DXA-Daten von Knochenmineralmessungen während des Wachstums. Dazu wurden regionale und Ganzkörpermessungen bezüglich des Knochenmineralgehaltes, der Knochenmineraldichte und -fläche an 587 Schweinen mit einem Gewicht von 3-138 kg mit dem Lunar DPX-L-Densitometer (GE Medical Systems, WI) durchgeführt. Die regionalen Messungen beschränkten sich auf die Vorderfüße, den Körperstamm und die Hinterfüße. Zudem wurde die Knochenmineraldichte von Kopf, Becken, Rippen und Wirbelsäule auf die Knochenmineraldichte untersucht. Es zeigte sich, dass sich ein höherer Prozentsatz des Knochenmineralgehaltes bei einem Körpergewicht von 5-75 kg im Körperstamm befand. Dabei erreichte der Anteil an Knochenmineralgehalt im Körperstamm bei einem Körpergewicht von 25 kg den Höhepunkt und fiel danach logarithmisch ab. Der prozentuale Knochenmineralgehalt in den Gliedmaßen stieg dagegen fortlaufend linear an. Im Vergleich nahm der Knochenmineralgehalt bis 30 kg Körpergewicht schneller im Körperstamm als in den Gliedmaßen zu, während ab einem Körpergewicht von 30-138 kg der Knochenmineralgehalt schneller in der Beinregion anstieg. Insgesamt konnte festgestellt werden, dass dabei die Hintergliedmaßen etwas schneller an Knochenmineralgehalt zunahmen als die Vordergliedmaßen. Die höchste Knochenmineraldichte konnte im Kopf, gefolgt von den Vordergliedmaßen, der Wirbelsäule, den Hintergliedmaßen, dem Becken und den Rippen, festgestellt werden. Während der Wachstumsphase von 3-138 kg stieg insgesamt die Knochenmineraldichte am stärksten im Becken und in den Hintergliedmaßen an. Die geringste Anstieg der Knochenmineraldichte konnte in den Rippen errechnet werden.

Bernau [2011] untersuchte 117 Tiere mittels MRT (Siemens Magnetom Open) und als Referenz mittels DXA (GE Lunar DPX-IQ) bei einem Körpergewicht von 80 bzw. 100 kg. Ziel war es herauszufinden, ob die Vorhersage der Körperzusammensetzung von Zucht-tieren zu einem früheren Termin möglich ist. Folgende Rassen wurden untersucht: Deut-sches Edelschwein, Deutsche Landrasse, Large Black, Schwäbisch-Hällisches Schwein, Pietrain, Duroc und ihre Kreuzungen. Interessanterweise zeigten extensiv genutzte Ras-sen bzw. deren Hybriden ein signifikant geringeres MRT-Muskelvolumen bei einem höhe-ren MRT-Fettvolumen. Entsprechend wurden bei diesen Schweinen das geringste DXA-Magerweichgewebe und der höchste DXA-Fettgehalt festgestellt. Weniger bemuskelte Tiere verfügten darüber hinaus über eine höhere Knochenmineraldichte. Zusammenfas-send ist eine relativ genaue Vorhersage der Körperzusammensetzung bei 100 kg Lebend-masse durch eine Untersuchung mittels MRT bei 80 kg möglich. So ergab sich beispiels-weise für die Gegenüberstellung der Volumina des Musculus longissimus dorsi bzw. dem darüber liegendem Fettgewebe bei 80 kg und 100 kg Körpergewicht ein hohes Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,86$ (RMSE = 82021 mm³) bzw. $R^2 = 0,91$ (RMSE = 41781 mm³).

Suster et al. [2003] untersuchten mittels DXA (Hologic QDR 4500) die Körperzusam-mensetzung von 151 Schweinen mit einem Gewicht zwischen 10 und 120 kg Körperge-wicht, um die Genauigkeit der DXA-Analyse mit der chemischen Analyse und Zerle-gung zu vergleichen. Es wurde der Hybrid Large White x Landrasse untersucht. Dabei wird DXA im Vergleich zu den derzeit zur Verfügung stehenden Methoden zur Bestim-mung der Körperzusammensetzung als nicht-invasive Methode mit sehr hoher Präzession (R^2 -Werte zwischen 0,92 bis 0,99 für Fettgewebe, Protein und Magerweichgewebe) und Effizienz bezeichnet.

Marcoux et al. [2005] verglichen 95 Schlachtkörperhälften von Jungsauen. Dabei wur-de das mittels DXA ermittelte Gewicht, Fett und Magerweichgewebe sowie Knochen-mineralgehalt verwendet, um die Werte des Schlachtkörpers mittels Schätzgleichungen vorherzusagen. Als Referenzmethode diente die Schlachtkörperzerlegung. Die Gleichun-gen, die mit den Werten aus der DXA-Analyse erstellt wurden, ergaben relativ hohe Beziehungen für das Fettgewicht ($R^2 > 0,70$; Variationskoeffizient CVe < 9,1 %). Jedoch wurde zur Vorhersage des Knochengewichtes mittels DXA-Analyse mit $R^2 < 0,66$ eine relativ niedrige Genauigkeit erzielt.

Die Studie von A.M. Scholz et al. [2004] beweist dass die DXA-Technik im Vergleich zur aufwendigen chemischen Analyse (Veraschung) eine geeignete, nicht invasive Me-thodik zur Messung der Knochenmineralsierung beim Schwein darstellt. Die Befunde der chemischen Analyse des Os metacarpale quartum von 38 Ebern wurden mit den

Ergebnissen der DXA-Untersuchung (GE Lunar DPX-IQ Scanner) verglichen. Es stellte sich ein hohes Bestimmtheitsmaß ($R^2 = 0,94$) für die Messung des Knochenmineralgehaltes (BMC) heraus. Eine ebenfalls hohe Beziehung bestand zwischen dem DXA-Knochenmineralanteil (%) und dem Rohaschegehalt (g/kg) ($R^2 = 0,81$).

2.5.3 Verwendungsbeispiele bei anderen Tierarten

Das Knochendensitometriergerät wurde auch für andere Tierarten verwendet. So wurde beispielsweise die Körperzusammensetzung und das Wachstum von 214 Kälbern (im Alter von 6 - 50 Tagen) unterschiedlicher genetischer Herkunft (Fleckvieh, Deutsche Holsteins und deren Kreuzungen) mittels der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (GE Lunar DPX IQ) analysiert [Hampe 2005]. Reinrassige Deutsche Holsteinkälber wiesen demnach eine geringere Masse sowie einen geringeren Knochenmineralgehalt, -dichte und Fettgewebeanteil auf. Zudem wurden Wachstumsuntersuchungen mittels DXA durchgeführt. Dazu wurden die Kälber im Abstand von drei Wochen zweimalig untersucht. Zwillingskälber und Kälber von Färsen zeigten demnach eine signifikant höhere Gewichtszunahme als Einlinge bzw. Kälber von älteren Kühen [Hampe 2005].

Grier et al. [1996] beschrieben in ihrer Arbeit den häufigen Gebrauch von DXA-Geräten bei Tieren und stellten fest, dass DXA für die Messung der Knochenmineraldichte und des -gehaltes sowie für die Körperzusammensetzung bereits bei vielen verschiedenen Tierarten v.a. für Langzeitstudien eingesetzt wird. Am häufigsten werden Ratten gescannt, wofür eine hochauflösende technische Ausstattung benötigt wird. Doch auch bei großen Tieren wie Hunden, Schweinen, Affen und Pferden [Junge 2012] wird DXA für die Analyse von bestimmten Körperbereichen oder Ganzkörperstudien vielversprechend eingesetzt. Es können auch Langzeitstudien zu Medikamentenversuchen, z.B. im Bereich der Knochenstoffwechselkrankheiten wie Osteoporose, an Tiermodellen durchgeführt werden. Der große Vorteil besteht unter anderem darin, dass die Probanden für die Versuchsreihen mit Messung des Knochenmineralgehaltes nicht mehr, wie es früher der Fall war, für jede Versuchsreihe getötet werden müssen, sondern mehrmals zur Verfügung stehen können. Knochenmineralmessungen an Tiermodellen finden unter anderem zur Untersuchung von Knochenstoffwechselkrankheiten, Knochenfrakturheilungen und Prothesenimplantationen statt [Grier et al. 1996].

Zahlreiche Studien zur Knochenmineraldichtemessung wurden an Ratten mittels DXA-Analyse durchgeführt [Amo et al. 1996; Schlewitz et al. 2013; Steinacker 2005]. Diese Tierart wird aufgrund ihrer kleinen Größe und ihrer Kurzlebigkeit gerne für Versuche eingesetzt. Es wurde wiederholt festgestellt, dass die Messungen sehr präzise sind.

Die höchste Genauigkeit ist im Bereich des Femurs vorhanden. Besitzen die Versuchstiere jedoch weniger als 50 g Körpergewicht lässt die Genauigkeit der Ergebnisse stark nach [Grier et al. 1996]. Amo et al. [1996] fanden eine hohe Übereinstimmung der Ergebnisse von Osteosonometrie mit der DXA-Knochenmineraldichtemessung an Rattenknochen (Femur und Tibia). Der Einfluss von Medikamenten (Ibandronat) auf die Knochenmineraldichte wurde in der Studie von Steinacker [2005] mittels DXA bei Ratten untersucht. Schlewitz et al. [2013] untersuchten Ratten als mögliches Osteoporosemodell für den Menschen. Dabei wurde durch eine Ovarioektomie und Vitamin D und Calciummangel Ernährung eine vertebrale Osteoporose reproduzierbar erzeugt.

An Katzen werden aufgrund der geringen gesellschaftlichen Akzeptanz weniger Versuche mittels DXA durchgeführt. Die Knochenmineraldichte und der Knochenmineralgehalt wurde beispielsweise an toten und lebenden Katzen untersucht, um herauszufinden ob DXA zur Erfolgskontrolle von Behandlungen vererbter Speicherkrankheiten des Menschen einsetzbar ist [Grier et al. 1996]. Speakman et al. [2001] untersuchten an zehn Katzen und sechs Hunden mit einem Körpergewicht zwischen 1,8 kg und 22,1 kg den Unterschied zwischen der chemischen und der DXA-Analyse. Es wurde ein Hologic QDR-1000W Pencil-Beam-Gerät verwendet. Die Tiere wurden getötet, gescannt und danach in 22 Teile zerlegt, welche chemisch analysiert wurden. Eine sehr hohe Beziehung wurde dabei zwischen dem Gewicht, welches vor der Zerlegung gemessen wurde und der mittels DXA errechneten Körpermasse gefunden: $r = 1,0$; wobei die durchschnittliche, prozentuale Abweichung von Regressionsgleichung $-1,016\%$ betrug. Eine ebenfalls sehr hohe Beziehung von $r = 0,999$ (prozentuale, durchschnittliche Abweichung von der Regressionsgerade: $2,64\%$) konnte im Magerweichgewebe festgestellt werden, welches mittels DXA bzw. mittels chemischer Analyse ermittelt wurde. Bezüglich des Fettgehaltes wurde mit $r = 0,982$ (prozentualen, durchschnittliche Abweichung von der Regressionsgerade: $2,04\%$) eine ebenfalls sehr hohe Beziehung festgestellt [Speakman et al. 2001].

Hunde weisen laut Grier et al. [1996] im Bereich der Knochenumbauvorgänge eine hohe Ähnlichkeit zum Menschen auf und werden daher gerne für Forschungsarbeiten verwendet. Die DXA-Analyse wurde eine geschätzte Methode, um die Körperzusammensetzung beim Hund zu analysieren [Lauten et al. 2001; Mawby et al. 2004; Raffan et al. 2006; Schneider et al. 2004]. Dabei wird wiederholt auf die hohe Genauigkeit der DXA-Technik hingewiesen [Mawby et al. 2004; Raffan et al. 2006; Schneider et al. 2004; Speakman et al. 2001].

Affen weisen natürlich die größte Ähnlichkeit zum menschlichen Knochenmineralstoffwechsel auf und werden deshalb für Osteoporosestudien mittels DXA eingesetzt. Es wird

darauf hingewiesen, dass die DXA-Technik bezüglich der Knochenmessung durch eine sehr große Genauigkeit und Effektivität brilliert [Grier et al. 1996; Jayo et al. 1991].

2.6 Magnetresonanztomographie

2.6.1 Funktionsweise

Grundprinzip

Die Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) wird seit Mitte der achtziger Jahre eingesetzt und zählt zu den bedeutendsten Diagnoseverfahren in der Humanmedizin. Es lassen sich damit beliebig orientierbare Schnittbilder des Körpers anfertigen. Die Besonderheit von MRT-Bildern ist ihre sehr kontrastreiche Darstellung von unterschiedlichem Weichgewebe [Baulain und Henning 2001; A.M. Scholz und Baulain 2009]. Allerdings muss der Patient bewegungsfrei gelagert werden, sodass bei Tieren eine Sedierung/ Narkose mit der erforderlichen Fachkenntnis nötig ist [Redrobe 2001; Szabo et al. 1999]. Die Erstellung und die Auswertung der Schnittbilder ist im Vergleich zur DXA-Analyse sehr zeitintensiv und aufwendig [A.M. Scholz und Baulain 2009]. Desweiteren benötigt besonders der MRT-Einsatz v.a. zu diagnostischen Zwecken sehr viel Erfahrung und Anleitung [Baulain 1997].

Zur Untersuchung mittels MRT liegt der Patient in einem Magneten. Ein Hochfrequenzimpuls (HF-Impuls bzw. elektromagnetische Welle) wird erzeugt und durchdringt den Körper. Nach kurzer Zeit wird diese Radiowelle wieder abgestellt. Daraufhin senden die angeregten Atomkerne ein Signal aus. Dieses Signal wird aufgefangen und dient zur Bildrekonstruktion [Schild 1997].

Detaillierte Betrachtung

Die folgende Beschreibung wurde primär aus dem Buch [Schild 1997] entnommen. Die Protonen des Wasserstoffkerns sind positiv geladen und rotieren um die eigene Achse, d.h. sie haben einen sogenannten „Spin“. Deshalb können sie als kleine „Stabmagnete“ betrachtet werden. Die Stabmagnete bewegen sich kreisförmig um sich selbst (Präzessionsbewegung). Diese Präzessionsbewegung der Protonen umschreibt die Achse eines Kegels. Werden diese nun in ein Magnetfeld gebracht, passiert folgendes: Die zuvor ungeordneten Stabmagnete richten sich zum großen Teil (parallel) entlang und zum kleineren Teil entgegen (antiparallel) des magnetischen Feldes aus. Wie viele Protonen sich parallel bzw. antiparallel ausrichten, hängt von der Stärke des externen Magnetfeldes ab. Durch

Addition der magnetischen Felder der einzelnen Protonen ergibt sich ein Summenvektor, der die Richtung und die Kraft des sich ergebenden Feldes der Protonen beschreibt. Dieser Summenvektor ist parallel zum externen Magnetfeld gerichtet (Longitudinalmagnetisierung). Vor dem Einbringen des magnetischen Feldes ist der Summenvektor demnach gleich Null, da sich die Kräfte der in alle Richtungen kreisenden Spins neutralisieren.

Um ein messbares Signal zu erzeugen, muss sich der Summenvektor bewegen. Da das Signal des Summenvektors bei der Longitudinalmagnetisierung nicht messbar ist, wird ein Hochfrequenzimpuls abgegeben. Dieser muss dieselbe Frequenz wie die Präzessionsfrequenz der Protonen besitzen (Resonanz) und bewirkt zweierlei:

1. Die Protonen nehmen Energie auf und richten sich zum Teil entgegen der Magnetfeldachse aus. Dies bedeutet, dass sich die Longitudinalmagnetisierung entlang der z-Achse verringert.
2. Die Präzession der Protonen wird „in Phase“ gebracht, d.h. die Protonen zeigen in die gleiche Richtung und neutralisieren sich nicht mehr gegenseitig, sodass eine neue gerichtete Magnetisierung entsteht (Transversalmagnetisierung entlang der y-Achse und x-Achse).

Die durch die Transversalmagnetisierung entstehende elektromagnetische Welle ist das Signal, welches gemessen werden kann. Wird nun der Hochfrequenzimpuls abgeschaltet, so nimmt die Longitudinalmagnetisierung wieder zu und die Transversalmagnetisierung nimmt wieder ab. Das bedeutet zum einen, dass die Protonen nacheinander ihre Energie an das umgebende Gewebe (Gitter) abgeben und zum anderen präzedieren immer mehr Protonen wieder in zufällige Richtungen, d.h. sie „entphasieren“ sich.

Jedes Gewebe hat eine typische Zeit, in welcher die Longitudinal- bzw. die Transversalmagnetisierung wieder zu- bzw. abnimmt. Diese Zeit der Herstellung ursprünglicher Verhältnisse wird für die Longitudinalmagnetisierung mit T1 (longitudinale Relaxationszeit, Spin-Gitter Relaxation) und für die Transversalmagnetisierung mit T2 (transversale Relaxationszeit, Spin-Spin Relaxation) beschrieben. Charakteristisch hat Wasser eine sehr lange T1 und eine sehr lange T2, während größere Moleküle wie z.B. Fett eine kurze T1 und eine kurze T2 haben (siehe Abbildung 2.2 auf der nächsten Seite). Allgemein ist die T1 immer länger als T2. So variiert die T2 zwischen 25 - 120 ms während die T1 für die meisten natürlich vorkommenden Stoffe zwischen 200 und 1.200 ms beträgt [Baulain 1997].

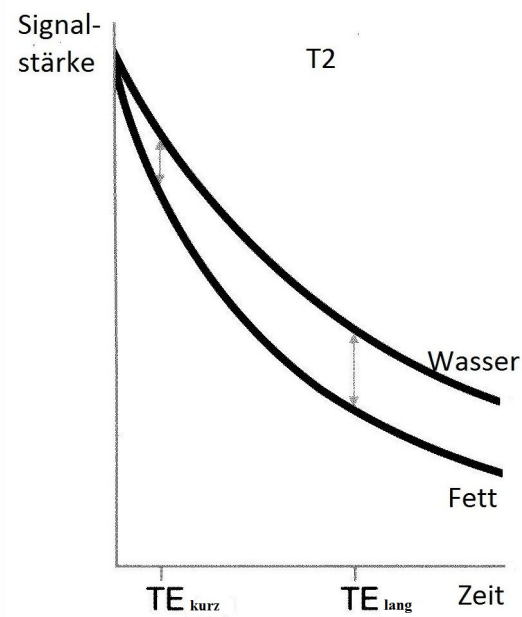


Abbildung 2.2: Darstellung der unterschiedlichen Relaxationszeit für Wasser und Fett, Fett: kurze T2, Wasser: lange T2. Bei einer langen TE (TE_{lang}) ist der Unterschied der Signalstärken zwischen den Geweben stärker ausgeprägt, als bei einer kurzen TE; modifiziert nach Schild [1997]

Mit Hilfe der Larmor-Gleichung kann der Zusammenhang zwischen der angelegten Magnetfeldstärke [Tesla] und der Präzessionsfrequenz [Hertz] dargestellt werden [Meier 2010]:

$$\omega_0 = \gamma B_0$$

ω_0 : Die Präzessionsfrequenz [Hertz] beschreibt wie oft sich das Proton pro Sekunde um die eigene Achse dreht.

γ : Das gyrometrische Verhältnis (für Protonen 42,5 MHz/T).

B_0 : Die Stärke des externen Magnetfeldes [Tesla].

Das bedeutet: Je höher das angelegte Magnetfeld ist, desto höher ist die Präzessionsfrequenz der Protonen. So liegt beispielsweise in einem Magnetfeld von 1,5 T die Präzessionsfrequenz der Protonen bei 64 MHz [Baulain 1997]. Bei einem Tesla beträgt die Frequenz 42,5 MHz [Meier 2010]. Auch die longitudinale Relaxationszeit wird dadurch beeinflusst: Aufgrund eines stärkeren Magnetfeldes ist die Präzessionsfrequenz der Protonen höher, was wiederum die Energieabgabe der Protonen erschwert. Demnach ist bei einem hohen Magnetfeld die T1 länger. Zur Versuchsdurchführung wurde eine sogenannte Spin-Echo-Sequenz verwendet [Schild 1997]. Diese Sequenz ist die am häufigsten verwendete MR-Technik [Meier 2010]. Das bedeutet, dass mehrere, verschiedene HF-Impulse hintereinander erzeugt werden: Der erste Impuls ist dabei ein 90°-Impuls und der darauffolgende ein 180°-Impuls. Ein 90°-Impuls ist definiert als ein Hochfrequenzimpuls, welcher auf einen Schlag die gesamte Longitudinalmagnetisierung zu einer Transversalmagnetisierung „umkippen“ lässt. Das heißt, dass die Hälfte der Protonen Energie aufnimmt und sich antiparallel zum Magnetfeld ausrichtet. Die andere Hälfte der Protonen nimmt keine Energie auf und bleibt damit parallel zum Magnetfeld gerichtet. Der Summenvektor bezogen auf die Longitudinalmagnetisierung ist somit gleich null. Zudem werden die Protonen wieder durch den HF-Impuls in Phase gebracht, sodass die transversale Magnetisierung nun vorhanden ist. Im Vergleich zur Ausgangsposition scheint der Summenvektor um 90° gekippt worden zu sein.

Zum weiteren Verständnis ist eine nähere Betrachtung der Präzession der Protonen notwendig: Zu Beginn bewegen sich die Protonen kegelförmig um die eigene Achse in alle Richtungen und neutralisieren dadurch die magnetischen Kräfte, d.h. sie präzedieren „außer Phase“. Der plötzlich eingeschalteter HF-Impuls bewirkt die Synchronisation der Protonenpräzession. Das bedeutet, dass die Kräfte nicht mehr neutralisiert werden, sondern bei der Bewegung in dieselbe Richtung zeigen. Dadurch entsteht ein Transversalmagnetvektor. Wird nun der HF-Impuls abgeschaltet, so präzedieren die Protonen

mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und beginnen damit wieder in unterschiedliche Richtungen zu pendeln. Die Transversalmagnetisierung verringert sich. Wird sehr lange abgewartet, ist schließlich keine Transversalmagnetisierung mehr vorhanden, da sich alle Protonen wieder „außer Phase“ bewegen. Nach der Zeit $TE/2$, welche (bei der Spin-Echosequenz) die Zeit zwischen dem 90° und 180° -Impuls bezeichnet, wird ein 180° -Impuls abgegeben. Dieser wirkt so auf die Präzession als würde ein Gummiball auf eine Wand treffen. D.h. die Protonen präzessieren nach diesem Impuls in die entgegengesetzte Richtung. Damit rephasieren sich die dephasierten Protonen nach einer weiteren Wartezeit von $TE/2$ erneut. Dadurch vergrößert sich der Transversalvektor und es entsteht ein Signal, das sog. Spin-Echo. Die Zeit TE (time to echo [Schild 1997], Echozeit [Nitz et al. 2007; Weishaupt et al. 2009]) ist die Zeit zwischen der Anregung (z.B. dem 90° -Impuls) und dem resultierenden Echo (hier: Spin-Echo) [Meier 2010].

In der Abbildung 2.2 auf Seite 49 zur Darstellung des Signals der transversalen Relaxationszeit (T_2) ist gut zu erkennen, dass bei sehr kurzer TE die Signalstärke zwar noch sehr hoch ist, aber die Differenzierung zwischen den Gewebearten Wasser bzw. Fett schwierig ist. Wird eine längere TE abgewartet, so ist zwar die Signalstärke verringert, jedoch ist der Unterschied zwischen den beiden Gewebearten sehr groß. Wird zu lange abgewartet, so ist das Gesamtsignal sehr schwach und wird zunehmend von äußeren Einflüssen (dem Rauschen) übertönt. Demnach sollte eine lange aber nicht zu lange TE gewählt werden, was als „ T_2 -gewichtete Sequenz“ bezeichnet wird.

Die TR (time to repeat, Repetitionszeit) bezeichnet die Zeit zwischen zwei Impulsfolgen. Bei der Spin-Echosequenz besteht eine Impulsfolge aus einem 90° und einem darauf folgendem 180° -Impuls.

Die Abbildung 2.3 auf der nächsten Seite zeigt den Verlauf des Signales der Longitudinalen Magnetisierung (T_1) nach einem HF-Impuls. Hierbei ist zu erkennen, dass bei der Wahl einer kurzen TR -Zeit die Differenz zwischen den Signalen der Gewebearten Gehirn und Liquor am größten ist. Bei der Wahl einer kurzen TR -Zeit spricht man daher von einer „ T_1 -gewichteten Sequenz“.

Zur Verdeutlichung: Wird eine lange TR und eine kurze TE gewählt, so spielt der Unterschied in der T_1 keine Rolle mehr, da sich die Longitudinalmagnetisierung wieder im vollen Maße „erholt“ hat. Die kurze TE führt dazu, dass sich die Effekte in der T_2 noch nicht „entwickeln“ konnten. Das Bild wäre also weder T_1 - noch T_2 -gewichtet, sondern nur abhängig von der Protonendichte des Gewebes. Je mehr Protonen vorhanden sind, desto stärker ist das Signal. Wird eine lange TR und eine lange TE verwendet, so ist das Bild T_2 -gewichtet. Wird eine kurze TR und eine kurze TE verwendet, so spricht

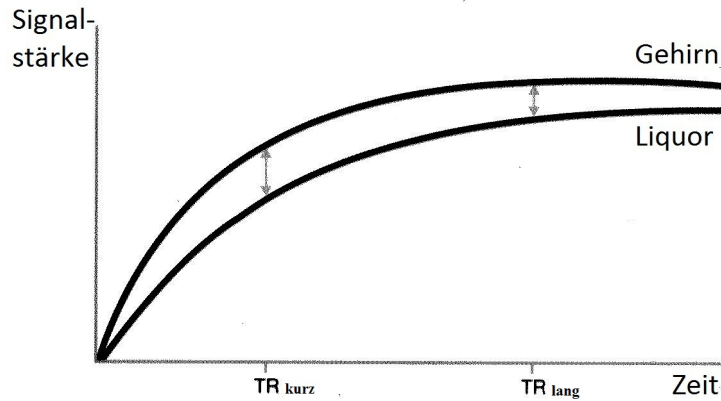


Abbildung 2.3: Darstellung der unterschiedlichen Relaxationszeit für Gehirn und Liquor, Liquor: längere T1, Gehirn: kürzere T1. Bei einer kurzen TR ist der Unterschied der Signalstärken zwischen den Geweben stärker ausgeprägt, als bei einer langen TR; modifiziert nach Schild [1997]

man von einem T1-gewichteten Bild. Würde eine sehr kurze TR mit einer sehr langen TE kombiniert werden, wäre das Signal so schwach, dass daraus kein aussagekräftiges Bild entstehen könnte.

Um den Ablauf des bildgebenden Verfahrens zu beschleunigen, werden die 180° -Impulse ersetzt durch einen Magnetfeldgradienten (Gradienten-Feld). Dieses inhomogene Magnetfeld überlagert dabei kurzzeitig das homogene Magnetfeld der MR-Magneten. Durch das kurze Zuschalten des Gradientenfeldes dephasieren sich die Protonen schneller. Danach wird das Gradientenfeld wieder abgeschaltet und kurze Zeit später genau umgekehrt wieder zugeschaltet. Die Wirkung ist ähnlich dem des 180° -Impulses: die Protonen geraten wieder in Phase und das Signal nimmt dadurch an Stärke zu. Dieses Signal wird (analog zum Spin-Echo) Gradienten-Echo genannt. Anschließend nimmt das Signal wieder ab.

Desweiteren wird die Untersuchungszeit durch sog. Flipwinkel als schnellere Alternative zum 90° -Impuls reduziert. Wie erwähnt, führt der 90° -Impuls zum Kippen des Summenvektors von der Longitudinal- zur Transversalmagnetisierung. Gleich darauf regeneriert sich die Longitudinalmagnetisierung mit einer Geschwindigkeit, welche von T1 des zu untersuchenden Gewebes abhängig ist. Verwendet man keinen 90° -Impuls sondern Impulse, welche einen kleineren Auslenkwinkel (Flipwinkel, oftmals zwischen 10° - 35°) erzeugen, so läuft die Regeneration der Longitudinalmagnetisierung wesentlich schneller

ab. Dadurch kann ein nachfolgender Impuls in einem wesentlich früheren Zeitabstand (TR) folgen und trotzdem noch ein verwertbares Signal erzeugt werden.

Die Signalintensität wird nicht nur durch die Stoffkonstanten (T1, T2, Protonendichte) und die Untersuchungsparameter (Art der Pulssequenz, Flipwinkel, TR und TE) beeinflusst, sondern auch durch Strömungs- und Flussphänomene innerhalb des Gewebes und eventueller Kontrastmittelgaben. Die Strömungsphänomene können sowohl zum Signalverlust als auch zur Signalverstärkung beitragen.

Die Auswahl der Schichtebene richtet sich nach einem zusätzlich angelegten Gradientenfeld (Schichtselektionsgradient), welches mit sogenannten Gradientenspulen erzeugt wird. Dieses inhomogene Magnetfeld überlagert das externe Magnetfeld. Damit weisen die Protonen aufgrund der Larmor-Gleichung im variierenden Magnetfeld unterschiedliche Präzessionsfrequenzen in den einzelnen Ebenen auf. Die Schichtdicke kann dabei auf zwei Arten ausgewählt werden:

1. Der HF-Impuls hat nicht nur eine Frequenz, sondern besteht aus einem definierten Frequenz-Spektrum. Je breiter dieses Spektrum ist, desto größer wird die Schichtdicke, in welcher die Protonen angeregt werden. Werden also beispielsweise HF-Impulse mit einer engen Bandbreite gesendet, werden auch nur entsprechend wenige Protonen angeregt, sodass die Schichtdicke sehr schmal ausgewählt werden kann.
2. Darüber hinaus kann die Steilheit des Gradientenfeldes verändert werden. Ein Gradientenfeld wird als umso steiler bezeichnet, je größer der Feldstärkenunterschied von einer zur anderen Seite hin ist.

Die Bestimmung einzelner Bildpunkte erfolgt schließlich durch die Anlegung des sog. Frequenzkodiergradientens und Phasenkodiergradientens, womit das MR-Magnetfeld ebenfalls überlagert wird. Erstgenannter wird in der Richtung der y-Achse angelegt und bewirkt unterschiedliche Präzessionsfrequenzen und damit entsprechende Signale entlang der y-Achse. Der Phasenkodiergradient, welcher entlang der x-Achse angelegt wird, bewirkt eine kurzzeitliche Präzessionsfrequenzänderung entlang der x-Achse. Sobald der Gradient abgeschaltet wird, kehren die Protonen mit veränderter Phase aber mit gleicher Präzessionsfrequenz wieder in ihre Ausgangslage zurück. Diese veränderten Signale werden erfasst und jeder Punkt in der Schicht kann mit Hilfe eines mathematischen Verfahrens (Fourier-Transformation) eindeutig zugeordnet werden. Für die Erzeugung der erforderlichen magnetischen Felder werden oft Elektromagnete verwendet. Elektrischer Strom wird durch eine Drahtspule geleitet, wodurch das Magnetfeld erzeugt wird.

Aufgrund des elektrischen Widerstandes kommt es zu einer raschen Aufwärmung des Magneten. Ein angepasstes Kühlverfahren ist daher unabdingbar, um die große Wärmemenge rasch abzuleiten [Schild 1997].

2.6.2 Verwendung zur Bestimmung der Körperzusammensetzung beim Schwein

Insgesamt ist festzustellen, dass die MRT ein geeignetes Verfahren zur Beurteilung der Körperzusammensetzung beim Schwein darstellt [Baulain 1997; Baulain und Henne 1999; Baulain und Henning 2001; Baulain et al. 2004; Baulain et al. 2010; Fowler et al. 1992; Friedrichs 2010; Fuller et al. 1994; Mitchell et al. 2001a].

In der Studie von Mitchell et al. [2001a] wurde die MRT zur Analyse der Körperzusammensetzung von Schweinen verwendet. Dabei wurden insgesamt in vier Teilstudien 111 Schweine mit einem Körpergewicht von 6,1–97,2 kg mit Hilfe eines 1,5 Tesla Picker Tomographen untersucht. Es wurden definierte Körpergewebe (Nierenfett, Rückenfett, Schultermuskulatur, M. Longissimus, Psoasmuskelgruppe, Schinken) und Innereien mit dem Sektionsgewicht verglichen. Es konnte ein Bestimmtheitsmaß (R^2) für Fett- und Muskelgewebe zwischen MRT-Volumen und Sektionsgewicht von 0,82 (SEE = 55, Psoasmuskel) bis 0,97 (SEE = 194, rechter Schinkenmuskel) erreicht werden. Die MRT-Volumina des Rückenfettes und des Schultermuskels betrugen ca. 2 % mehr als das Sektionsgewicht, während der Schinkenmuskel, M. longissimus dorsi und die Psoasmuskelgruppe 2,18 und 20 % weniger als ihr entsprechendes Sektionsgewicht zeigten. Zudem konnte durch eine stufenweise Regressionsanalyse von definierten Bereichen des Rückens und Schinkens eine exakte Vorhersage über die ganze Körperzusammensetzung bzgl. Körperfett und -protein eines Schweines getroffen werden. Dazu wurde das Volumen von 10 cm Schnitten des M. longissimus mit dem darauf liegenden Fett und das Volumen von 15 cm Schnitten des Schinkenmuskels und dem aufliegenden Fett analysiert. Die höchste Beziehung für die Vorhersage des Körperfettgehaltes ($R^2 = 0,9$; SEE = 1,5) konnte für die stufenweise Regressionsanalyse durch die Wahl des Fettvolumens der 10 cm Schnitte des M. longissimus und dem Verhältnis von Fett zu Muskel der 15 cm Abschnitte erreicht werden.

Baulain und Henning [2001] bestätigten, dass die Erfassung der Quantität von Weichgeweben mittels MRT durch eine direkte Erfassung des Fett- und Muskelvolumens oder über Schätzgleichungen mit sehr hoher Genauigkeit möglich ist. Desweiteren ist dieses Verfahren im Gegensatz zur grobgeweblichen Zerlegung weitaus weniger zeit- und

arbeitsaufwendig. Die MRT ist durchaus als Referenzmethode für die tierzüchterische Praxis und Schlachtkörperklassifizierung geeignet. Zudem ist das nicht-invasive Verfahren sehr vielfältig einsetzbar. Eine Analyse des individuellen Wachstums von Gelenken, einzelner Muskeln, Organen und Körperpartien ist durch eine wiederholte Messung derselben Probanden möglich. Zusätzlich ist bei Untersuchungen mittels MRT im Gegensatz zur herkömmlichen Stufenschlachtung mit ausschließlich grobgeweblichen Zerlegung von Geschwistertieren eine geringere Anzahl von Versuchstieren nötig. Auch zu diagnostischen Zwecken, wie z.B. der Beurteilung von haltungsbedingten Störungen des Bewegungsapparats ist die MRT verwendbar.

Baulain und Henne [1999] beschäftigten sich mit der Untersuchung des Fleischanteils von 157 Schweineböcken von Börden mittels MRT (8 mm Scheibendicke, Scheibenabstand 16 mm, 28 angefertigte Querschnittsbilder). Ziel der Untersuchung war es, die genetische Variation im Bauchfleischanteil von Schweinen aus zwei Mutterlinien zu untersuchen. Es bestätigte sich, dass mittels MRT die Zusammensetzung von Geweben gut erfasst werden kann. Zudem kann das unversehrte Gewebe nach der Untersuchung vermarktet werden. Die Studie ergab, dass das wertvolle Teilstück Bauch wahrscheinlich züchterisch durch eine gezielte Auswahl von Vätern und Nachkommen beeinflusst werden kann. Allerdings ist die Frage nach einer objektiven Bauchbewertung in der Leistungsprüfung nicht geklärt und die geringe Tieranzahl muss bei der Auslegung des Ergebnisses beachtet werden.

Es folgten weitere Studien von Tholen et al. [2003] über die Validierung von drei Methoden zur Beurteilung der Bauchzusammensetzung. Hierbei handelte es sich um die Verwendung von Regressionsgleichungen (welche Schlachtkörperergebnisse, z.B. Fettdicke oder Muskelfläche enthielten), planimetrische Analysen (von Schnitten zwischen der 13. und 14. Rippe in Form von digitalen Bildern oder Videos) und Ultraschalluntersuchungen (mittels AutoFOM-Gerät). Damit wurden 400 Schlachtkörper der Rasse Pietrain und deren Kreuzungen mit einem Schlachtgewicht von 85–97 kg untersucht. Die Magnetresonanztomographie wurde als Referenzmethode verwendet, welche den Magerfleischanteil des Bauches ermittelte. Dabei war es aber aufgrund der Komplexität der Muskelstruktur des Bauches teilweise schwierig, die exakte Zusammensetzung zu bestimmen. Die Messung mittels AutoFOM-Gerät und die planimetrische Analyse von digitalen Bildern brachten ungenauere Ergebnisse, als die linearen Messwerte. Eine höhere Aussagekraft konnte durch die Einbeziehung der Ergebnisse aus der planimetrischen Analyse der digitalen Bilder und der linearen Messwerte in die Regressionsanalyse erreicht wer-

den. Beispielsweise stieg R^2 von 35,0 auf 53,6 bei der Untersuchung von Magerweichgewebe der Rasse Pietrain mit 85 kg Körpergewicht (RMSE = 3,75 bzw. 3,18).

Baulain [1997] beschrieb ebenfalls, dass durch die Verwendung der MRT erfolgreich und exakt sowohl eine quantitative Aussage über den Muskel- und Fettgewebsanteil, als auch über das Volumen einzelner Muskeln und Organe getroffen werden kann. Die Aussage bezieht sich auf die seit 1988 mittels MRT (Bruker Medspec BMT 15/100, 1,5 Tesla) durchgeführten Versuche an Schweinen der Deutsche Landrasse mit einem Körpergewicht von 20, 50 und 90 kg. Die Tiere wurden in fünf Körperregionen untersucht. Danach wurden die Tiere geschlachtet und als Referenzmethode in Muskel, Fett und Knochen zerlegt. Die MRT konnte in jeder Gewichtsgruppe genaue Ergebnisse über das absolute Gewicht des Mager- und Fettgewebes liefern. Jedoch war die Genauigkeit der Ergebnisse bezüglich des Mager- und Fettprozentsatzes bei einem Körpergewicht von 90 kg deutlich höher als bei einer Gruppe an Tieren mit 20 kg Körpergewicht. Zur Stützung der Ergebnisse bezog sich Baulain [1997] auf die Studie von Kastelic et al. [1995], welche ebenfalls nach einer fünfmaligen tomographischen Messung von 52 Landrasseschweinen in den Gewichtsklassen von 20, 35, 50, 70 und 90 kg auf ein ähnliches Ergebnis kam. Die Genauigkeit der Mager- und Fettgewebewerte war im Vergleich der 20 kg-Messung bei einem Gewicht von 70 kg deutlich höher (Muskelgewebe: $R^2 = 0,87$ in der 20 kg-Gruppe zu $R^2 = 0,95$ in der 70 kg-Gruppe; Fettgewebe: $R^2 = 0,84$ zu $R^2 = 0,91$). Leider wurden keine Standardschätzfehler aufgeführt. Diese Erkenntnis wurde in dem Review von Szabo et al. [1999] bestätigt. Darin wurden die Daten von vier größeren Untersuchungen (Henning [1992], Scholz et al. [1993], Fowler et al. [1992] sowie Baulain [1997]) verglichen. Folgende Erkenntnisse konnten gewonnen werden:

1. Die Aussagekraft von MRT ist geringer, wenn das untersuchte Gewebe auf die Körpermasse bezogen wird (d.h. prozentual angegeben wird), im Gegensatz zu den einzeln untersuchten Gewebeanteilen, die absolut (in g oder kg) angegeben werden. Zudem scheint ein geringeres Körpergewicht zu einer Verringerung der R^2 -Werte für den prozentualen Mager- und Fettanteil zu führen.
2. Die Genauigkeit der MRT-Ergebnisse wird stark vom Körpergewicht der Tiere und von unterschiedlichen Bewertungsmethoden beeinflusst.

Im Jahr 1992 wurde an zwölf weiblichen Large White Hybriden (davon waren sechs Schweine adipös und sechs Schweine mager) der Fettgehalt mittels MRT ab einem Lebendgewicht von 76 kg ermittelt und mit den Ergebnissen aus der Sektion und der chemischen Analyse verglichen [Fowler et al. 1992]. Es wurde ein 0,04 Tesla MR-Tomograph

verwendet, welcher mit einer Repititionszeit von 1.000 ms und einer TI von 200 ms und einer Schichtdicke von 12 mm arbeitete. Die Tiere wurden seitlich gelagert und abhängig von ihrer Körperlänge individuell in 13 Scheiben eingeteilt, wobei der erste Wirbel und das Gelenk zwischen Femur und Pelvis als Orientierung diente. Dazu wurden die Schweine an ein Brett gebunden und die 13 individuellen transaxialen Schnittführungen markiert, sodass in der Zerlegung und chemischen Analyse diese definierten Scheiben ausgewertet und verglichen werden konnte. Es stellte sich heraus, dass zwischen der MRT, der chemischen Analyse und der Zerlegung im Bereich des Abdomen und Nackens die größten Abweichungen vorhanden waren. Jedoch wurde dieses Ergebnis bereits von den Autoren erwartet, da aufgrund der Bewegung der Versuchstiere und deren Ingesta Artefakte im MR-Tomographen auftreten können. Insgesamt war die Übereinstimmung zwischen den drei Methoden bzgl. des prozentualen Fettgehaltes sehr gut. Zudem war der Unterschied der Ergebnisse bei mageren Tieren geringer als bei fetten Tieren. Zusammenfassend bewies diese Studie, dass der prozentuale Fettgehalt mittels MRT sehr exakt bestimmt werden kann: Der prozentuale Fettgehalt aller untersuchten Schweine betrug mittels MRT-Untersuchung 27,6 % (SEE = 9,2). In der Zerlegung wurde ein Wert von 31,2 % (SEE = 9,6) und in der chemischen Analyse 26,4 % (SEE = 7,9) ermittelt. Zudem ist die Technik wiederholbar und robust.

Friedrichs [2010] verglich ebenfalls am Schwein verschiedene Möglichkeiten zur Beurteilung der Schlachtkörperqualität. Die MRT-Analyse und die apparative Klassifizierung wurden der grobgeweblichen Zerlegung gegenübergestellt. Der Schätzfehler bezüglich des Muskelvolumens des Schlachtkörpers erreichte beim MRT-Verfahren beim Genotyp DE-DL 2 % und das Bestimmtheitsmaß lag bei 95 %. Dagegen betrug bei der Schätzung des Muskelfleischanteils nach der „Bonner Formel“ der Schätzfehler für den Genotypen DE-DL 2,5 % und das Bestimmtheitsmaß 72,2 %. Damit stellt das MRT-Verfahren eine genauere Schätzmethode zur Bestimmung der Schlachtkörperqualität als die Schätzung nach der „Bonner Formel“ dar. Die MRT-Ergebnisse der Muskelmasse und der Gewichte der Teilstücke variierten aufgrund der mangelnden Abgrenzbarkeit der Teilstücke auf Basis anatomischer Fixpunkte. So erreichten das Kotelett und das Filet – bei Abschätzung der Teilstückmasse mit Hilfe des Schlachtgewichtes und dem korrespondierenden virtuellen MRT-Teilstück – einen relativen Schätzfehler von über 5 %, während die Gewichte der Teilstücke Schinken und Schulter mit hoher Genauigkeit (Bestimmtheitsmaße über 80 % und einem relativen Schätzfehler unter 5 %) geschätzt werden konnten. Zur Wiederholbarkeit der Auswertung der MRT-Bilder wurden die Aufnahmen von 30 Schweinen

von zwei Benutzern ausgewertet. Die Wiederholbarkeit von 96 % zeigte, dass der Einfluss verschiedener Auswertungspersonen von untergeordneter Bedeutung ist.

Baulain et al. [2010] überprüften an 202 Schweinen die Vorhersagekraft der Schlachtkörperzusammensetzung mittels MRT. Dabei wurden unterschiedliche Rassen wie Deutsches Edelschwein, Deutsche Landrasse, Pietrain und Hybriden mit einem Gewicht von 75-115 kg geschlachtet und in vier Gewichtsklassen eingeteilt. Die linke Schlachtkörperseite wurde mittels MRT auf ihre Muskel- und Fettzusammensetzung sowohl in Teilbereichen als auch im Gesamten untersucht. Danach wurde die Schlachtkörperhälfte anhand der EU-Methode zerlegt. Interessanterweise stellte sich heraus, dass bei extrem mageren Schweinen, wie Pietrain, die alleinige Untersuchung der Schulter-Scanregion ausreichend ist, um den Muskelgehalt des gesamten Schlachtkörpers vorherzusagen. Eine zuverlässige Beurteilung war zudem im Schinkenbereich möglich. Für die Beziehung zwischen den Ergebnissen der Zerlegung des gesamten Schlachtkörpers und der MRT-Auswertungen wurde $R^2 > 0,96$ ermittelt (RMSE = 0,43-0,62 (kg)). Insgesamt wurde die MRT als geeignete Referenzmethode zur Schätzung der Körperzusammensetzung von Schweineschlachtkörpern bestätigt.

Gruber [2011] untersuchte das Wachstum und die Produktqualität von seltenen und marktgängigen Schweinerassen unter ökologischer Fütterung und, soweit die baulichen Gegebenheiten es zuließen, unter ökologischen Haltungsbedingungen. Ziel war die Eignung der unterschiedlichen Herkünfte für die ökologische Schweinefleischerzeugung zu überprüfen. Es handelte sich um 90 Tiere der folgenden Kreuzungsgenotypen: PI-DEDL, DU-DL und PI-SH sowie SH in Reinzucht. 85 Tiere wurden mit einem Lebendgewicht von 34, 51, 70 und 87 kg mittels MRT (Medspec BMT der Fa. Bruker, 1,5 Tesla) auf Muskel- und Gewebevolumina untersucht. Zusätzlich wurde vier Wochen nach der letzten in vivo-Messung die fünfte Messung des Tieres an der linken Schlachthälfte 24 h post mortem durchgeführt. Als Ausgangspunkt der transversalen Schnittbilder wurde die Ohrfalte festgelegt. Es folgte eine über einstündige Messung mit einer Scheibendicke von acht Milimetern und einem Scheibenabstand von 16-24 mm. Die rechte Schlachtkörperhälfte wurde auf Schlachtkörper- und Fleischqualität untersucht. Die reinrassigen SH-Schweine zeigten in allen MRT-Ergebnissen das geringste Muskel- und das höchste Fettvolumen und unterschieden sich damit signifikant von den anderen Hybriden. PI-SH dagegen unterschied sich aufgrund der fleischreichen Pietrain-Genetik in den ersten vier Untersuchungen nicht von der Gruppe. Erst bei einem Gewicht von 119 kg wies PI-SH das höchste Muskelvolumen auf und unterschied sich somit signifikant von DU-DL und SH, jedoch nicht von PI-DEDL. Im Vergleich der Sauen und Börgen (kastrierte,

männliche Schweine) zeichnete sich bereits ab der zweiten Messung (bei 51 kg Körpergewicht) ein höheres Muskel- und ein niedrigeres Fettvolumen der Sauen ab. Hinsichtlich der Mastleistung unterschieden sich die Genetiken nicht signifikant voneinander. Desweiteren wurden statistische Berechnungen zum Wachstumsverlauf im Bereich zwischen 30 kg und 120 kg angestellt. Die intensive Phase des Muskelwachstums dauerte bei SH-Reinzucht mit 107 Tagen am kürzesten. Dabei zeigte der SH-Genotyp den geringsten Muskelzuwachs, während PI-SH den höchsten Muskelzuwachs mit der längsten Muskelwachstumsphase (123 Tage) aufwies. Verhältnismäßig umgedreht verhielt es sich mit dem Fettvolumen. SH wies den geringsten Magerfleischanteil mit 46,3 % auf und zeigte zusammen mit PI-SH die höchste Rückenspeckdicke. DU-DL besaß dagegen im Vergleich die höchsten Tageszunahmen, PI-SH und PI-DEDL das größte Muskelwachstum [Gruber 2011].

2.6.3 Verwendungsbeispiele bei anderen Tierarten

Laut Baulain [1997] ist die MRT nicht allein zur exakten Vorhersage der Körperzusammensetzung geeignet, sondern auch zur Beschreibung von morphologischen Strukturen und pathologischen Veränderungen. So ist beispielsweise die Diagnose der Rhinitis atrophicans schon im subklinischen Stadium mittels MRT möglich. Jedoch benötigt der einwandfreie MRT-Einsatz speziell für die diagnostische Verwendung sehr viel Übung und eine gute Anleitung.

Die MRT wird tierzüchterisch nicht nur beim Schwein sondern beispielsweise auch beim Schaf erfolgreich zur Analyse der Körperzusammensetzung eingesetzt. Im Institut für Tierzucht Mariensee der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) wurde eine morphologische Untersuchung bei 44 Lammschlachtkörpern an drei Rassen (Merinolandschaf, Schwarzköpfiges Fleischschaf und Merinofleischschaf) mittels MRT (1,5 Tesla) durchgeführt, um eine geeignete Untersuchungsstelle für die Schlachtwertbestimmung mittels Ultraschall zu finden [Korn et al. 2005]. So wurde der lange Rückenmuskel (M. longissimus dorsi) an jedem Schlachtkörper komplett mittels Querschnittsbildern (im Abstand von 32 mm) analysiert. Es ergaben sich rassespezifische Unterschiede bzgl. der Muskelform und des Volumens. Entlang der Rückenlinie zeigte sich jedoch unabhängig von der Rasse von cranial nach caudal ein kontinuierlicher Anstieg der Rückenmuskelfläche. In der hinteren Lendenregion wurde der Rückenmuskel rasch flacher. Der Bereich um den dritten Lendenwirbel schien eine aussagekräftige Messposition für die Ultraschalluntersuchung zu sein.

Wie nachfolgende Beispiele zeigen, kann die MRT auch bei anderen Tierarten, wie Hund, kleine Säugetiere, Schildkröten und Vögel diagnostisch eingebracht werden.

Rodenas et al. [2011] setzten die MRT (0,5 T und 0,2 T) zur Diagnosefindung von Hirntumoren bei 41 Hunden ein. Dabei sollte unter anderem herausgefunden werden, wie exakt Tumore mittels MRT beurteilt werden können und ob die Ergebnisse anschließend histologisch bestätigt werden können. Es stellte sich heraus, dass zu 90 % (in 37 von 41 Fällen) mittels MRT neoplastische von nicht-neoplastischen Läsionen unterschieden werden konnten. Dabei wurden zu 89 % primäre und zu 92 % sekundäre Hirntumore identifiziert. Allerdings erfolgte nur bei 70 % eine richtige Typisierung der primären Tumore. Die MRT-Aufnahmen wurden T2-gewichtet. Kurz vor und nach der Kontrastmittelgabe wurden T1-gewichtete Bilder erstellt. Insgesamt konnte die Studie beweisen, dass die MRT gut für die Erstdiagnose von Tumoren geeignet ist, jedoch auch auf Grenzen bezüglich der Differenzierung der Tumorarten stößt. Deshalb bleibt die Biopsie für eine definitive Diagnosefindung und Behandlung von Hirntumoren unabdingbar.

Außerdem wurde die MRT bei Schildkröten eingesetzt [Straub und Jurina 2001]. Da die klinische Untersuchung aufgrund der schlechten Zugängigkeit dieser Tierart oft nicht zur Diagnosefindung ausreichend ist, muss zu anderen diagnostischen Mitteln gegriffen werden. Allerdings ist auch die Aussagekraft von Röntgen und Ultraschall begrenzt. Bei Röntgenaufnahmen ist der Kontrast des Bildes durch den Schildkrötenpanzer sehr stark reduziert. Die Kontrastmittelgabe zur besseren Beurteilung des Verdauungstraktes kann jedoch oftmals nicht praktikabel durchgeführt werden, oder ist z.B. bei einem, an Verstopfung leidenden Tier, sehr riskant. Die Ultraschalluntersuchung kann nicht bei kleinen Schildkröten eingesetzt werden. Zudem sind mit beiden Techniken keine Diagnosen im Respirationstrakt möglich. Die MRT überzeugt besonders dadurch, dass die erzeugten Bilder nicht durch den Panzer beeinflusst werden und die Schnittebene beliebig variiert werden kann, ohne dabei den Patienten umlagern zu müssen. Weiterhin können ruhige Schildkröten schonend und ohne Sedierung im MRT untersucht werden. Für den Versuch wurde ein 0,5 T MR-Tomograph ausgewählt, welcher T1, T2 und Protonendichtegewichtete Bilder in sagitaler, transversaler und coronarer Ausrichtung erstellte. Die Schichtdicke variierte von 3-5 mm. Physiologisch konnten Leber mit Gallenblase und Hohlvene, Trachea, Magen, Herz, Verdauungstrakt (wobei die Unterscheidung zwischen anatomischer Darmanteilen nicht möglich ist), Skelettmuskulatur, Urinblase (Voraussetzung ist eine gute Füllung der Blase, da sonst die Unterscheidung zum Verdauungstrakt nicht eindeutig möglich ist), Nieren und Eier bzw. Follikel sehr gut dargestellt werden. Die pathologischen Befunde, die nicht mit der Standardtechnik, jedoch mittels MRT dar-

gestellt werden konnten, reichten von milden bis moderaten Lungenentzündungen, ältere Lungenblutungen bis hin zu Lungenquetschungen. Trotz der hohen Kosten und zeitaufwendigen Untersuchung wird die MRT zukünftig eine äußerst nützliche Bildgebung bei Reptilien, besonders bei Schildkröten werden [Straub und Jurina 2001].

Inderbitzin et al. [2007] beschrieben die MRT als eine sehr attraktive Methode für Versuche mit kleinen Nagetieren. Besonders geeignet schien ein 1,5 T Gerät für experimentelle Fragestellungen, wie der Darstellung von Organen und Geweben, zur Beurteilung der Regeneration von Organen, Transplantation, Stoffwechselstörung und Tumorforschung zu sein.

Auch Redrobe [2001] zeigte einige Vor- und Nachteile des MRT beim Einsatz an kleinen Säugetieren auf. So sind die Bilder bei entsprechender Ruhigstellung des Patienten sehr kontrastreich, die gewünschten Bereiche können in allen Ebenen aufgenommen werden und sie eignet sich exzellent für die Diagnose von Hirnläsionen sowie Gelenk- und muskuloskeletalen Aufnahmen. Jedoch sei bis dato der Einsatz der MRT eher auf experimentelle Studien begrenzt. Außerdem wird bei kleinen Säugetieren das Bild oft schon durch die gastrointestinale Darmperistaltik unscharf.

Bei Kanarienvögeln und Staren, welche ein Körpergewicht von 20 g bzw. 75 g besitzen, wurde 1998 erfolgreich untersucht, ob mittels MRT das Gehirn dieser kleinen Singvögel in vivo, dreidimensional, morphologisch, quantitativ und auch qualitativ dargestellt werden kann [Verhoye et al. 1998]. Für diese Untersuchung wurde ein 7 Tesla MR-Tomograph verwendet. In Zukunft scheint es möglich zu sein, diese Messdaten mit dem Tierverhalten und den physiologischen Daten in Beziehung zu stellen. Somit stellt diese Studie einen wichtigen Fortschritt für neurologische Untersuchungen an Vögeln dar.

Eine weitere Arbeit über den Einsatz der MRT beim Vogel wurde von Newell et al. [1997] veröffentlicht. Die Diagnose von Lungenkrankheiten bei Vögeln ist, aufgrund der sich vom Säugetieren stark unterscheidenden Anatomie, eine Herausforderung. Die Anwendung der MRT bei physiologischen Vogellungen ist insofern problematisch, als dass die Dichte der Luftsackhüllen sehr gering ist und somit die Luftsäcke nicht gut darstellbar sind. Allerdings konnten respiratorische Abnormalitäten, welche mit einer Verdichtung des Luftsackes einhergehen, mittels MRT gut aufgezeigt werden [Newell et al. 1997].

Über ähnliche Erfahrungen wurde bei der Diagnose von Lungenerkrankungen bei Tigerpythons berichtet [Pees et al. 2006]. So ergaben Sektionsbefunde eine hochgradige Pneumonie der drei Schlangen, welche man röntgenologisch nicht diagnostizieren konnte. Die Untersuchungen mittels CT und MRT zeigten jedoch deutliche Verschattungen bzw.

eine hyperintensiver Signalveränderung des Lungengewebes. Zusammengefasst zeigt die MRT ein großes Potential zur Diagnostik respiratorischer Erkrankungen.

3 Material und Methode

3.1 Versuchstiere

3.1.1 Haltung der Versuchstiere

Die Schweine stammen aus eigener Nachzucht (Eigenremontierung) des Lehr- und Versuchsgutes Oberschleißheim (LVG). Im Alter von sechs bis acht Monaten werden die Jungsauen vom LKV auf Zuchttauglichkeit geprüft. Fällt die Prüfung positiv aus, so werden die Tiere im Alter von acht bis neun Monaten (bei 130 - 150 kg) mittels künstlicher Besamung belegt. Dazu werden sie im sogenannten Deckzentrum in Besamungskastständen untergebracht. Die Fütterung erfolgt über eine automatische Fütterungsanlage, Wasser erhalten alle Schweine ad libitum. Der Vollspaltenboden ist teilweise mit Gummimatten belegt. Die Trächtigkeitsuntersuchung wird am 28. Tag nach der Besamung (Künstliche Besamung oder Natursprung) mittels Ultraschall durchgeführt. Bei positivem Befund werden die trächtigen Tiere in Gruppen im Wartesauenbereich des Außenklimastalles untergebracht. Hierbei handelt es sich um eine Tiefstreubucht, welche mit zwei Futterautomaten (Doppel-Fitmix-System) der Firma Pig Tek ausgestattet ist. Mit dem 108. Trächtigkeitstag werden die Sauen in Abferkelbuchten umgestallt. Die Buchtenmaße betragen 240 x 180 cm, der Sauenstand kann je nach Sauengröße mit 57 - 73 cm Breite und 170 - 210 cm Länge variabel eingestellt werden. Bei der Tränke handelt es sich um eine sog. Mutter-Kind-Tränke. Für die Fütterung wird die automatische Fütterung von RAFÜ Mannebeck verwendet. Die Ferkelnestoberfläche ist auf 32 - 34 Grad Celsius beheizt. Dafür stehen Infrarot-Wärmelampen und eine Fußbodenheizung zur Verfügung. Jede Woche wird die Temperatur um ca. zwei Grad Celsius abgesenkt. Mit einem Alter von einer Woche wird zusätzlich Prestarterfutter für Saugferkel angeboten. Nach 28-tägiger Säugezeit werden die Ferkel abgesetzt. Die zur Zucht ausgewählten Ferkel werden mit 10 - 12 Lebenswochen gruppiert, wobei spätere Umgruppierungen möglichst vermieden werden. Die Sauen gelangen nach dem Absetzen wieder in das Deckzentrum.

Zur Aufstallung der Mastschweine stehen zwei Haltungssysteme zur Verfügung:

Maststall mit Beton-Vollspaltenboden: Der Maststall besteht aus acht Buchten, die für jeweils 25 Mastschweine ausgelegt sind. Die Tiere bekommen eine ad libitum Trockenfütterung. Die Futteranlage fördert dreimal täglich pelletiertes Futter in den Futterautomaten. An den Schiebern der Förderrohre kann die Futterart, d.h. Vor- oder Endmastfutter, für die jeweilige Abteilung eingestellt werden.

Außenklimastall mit Tiefstreuboxen: Im Außenklimastall handelt es sich um eine Space-Board Aufstallung. Dieses Haltungssystem kommt ohne Lüftungs- und Heizungssysteme aus. Im Stall sind parallel zum Wartesauenbereich sechs Mastboxen untergebracht. Im oberen Bereich der Abteilungen stehen die Tiere auf Spaltenböden. In der Mitte befindet sich die Doppelfitmix Abruffütterung (Pig Equipment Gruppe Pig Tec), welche für 34 Tiere ausgelegt ist. Die Tiere gelangen über Stufen vom oberen Abteilungsbereich in den mit Stroh eingestreuten unteren Bereich der Mastabteile. In der frostfreien Zeit erfolgt eine Brei- und während der Frostperiode eine Trockenfütterung.

3.1.2 Ernährung der Versuchstiere

Für die Mastdauer stehen zwei Futterzusammenstellungen zur Verfügung (siehe Tabelle 3.1 auf der nächsten Seite). Das Vormastfutter wird ab ca. 30 kg Lebendgewicht bis ca. 70-80 kg Körpergewicht gefüttert. In dem letzten Drittel der Mast werden die Schweine mit dem Endmastfutter ernährt. Alle Versuchstiere bekamen die gleiche Vor- bzw. Endmastmischung. Die Tiere aus dem Maststall wurden jedoch ad libitum gefüttert, während die Tiere im Außenklimastall eine rationierte Fütterung erhielten. Diese Rationierung erfolgte über eine festgelegte Futterkurve, wobei die Tiere bei der Einstallung auf 1,5 kg Futter pro Tier und Tag und gegen Mastende auf 2,8 kg Futter pro Tier und Tag Anrecht hatten.

3.1.3 Genetik der Versuchstiere

Insgesamt wurden 469 Tiere des Lehr- und Versuchsgutes Oberschleißheim untersucht. Davon waren sechs Eber, welche jedoch aufgrund der geringen Tierzahl für die Auswertung der MRT- und DXA-Daten unberücksichtigt blieben, 209 männlich-kastriert und 254 weiblichen Geschlechts. Die Muttersauen wurden immer mit der Vaterrasse Pietrain belegt. Insgesamt kamen 28 verschiedene Zuchteber zum Einsatz. Die Tabelle 3.2 auf

Tabelle 3.1: Futterzusammensetzung in der Mastphase

Inhaltsstoff	Endmast Anteil [%] bis 2009	Endmast Anteil [%] ab 2010	Vormast Anteil [%] bis 2009	Vormast Anteil [%] ab 2010
Gerste	55,0	55,0	33,0	31,0
Weizen	12,0	12,0	22,3	22,3
Hafer	5,0	5,0		
Körnermais	11,0	11,0	22,3	22,3
Sojaschrot (44%Rp)	14,5	13,5	19,4	20,4
Mineralfutter: Mastkraft	2,5	2,5	3,0	3,0
Säureadsorbat: ADDCON FORMI		1,0		1,0

der nächsten Seite beschreibt wie oft welcher Pietraineber bei welcher Kreuzung zum Einsatz kam. In der Tabelle 3.3 auf Seite 67 wird, äquivalent zu den Ebern, die Mutternummer und der Genotyp dargestellt sowie die Anzahl der geprüften Nachkommen. Von den 24 eingesetzten Muttersauen waren acht Hybriden DULB, zwei WIDULB, neun DEDL und fünf DUSH Sauen.

Wie in Tabelle 3.4 auf Seite 67 ersichtlich, waren die Mutterlinien Hybriden aus den konventionellen Rassen: Deutsches Edelschwein und Deutsche Landrasse (DEDL bzw. DLDE) sowie aus folgenden alternativen Mutterhybriden: Duroc-Large Black (DULB), Duroc-Schwäbisch Hällisches Schwein (DUSH), Wildschwein-Duroc-Large Black (WIDULB bzw. LBWIDU).

Da erwartet wurde, dass zwischen den reziproken Kreuzungen von Deutscher Landrasse (DL) und Deutschem Edelschwein (DE) sowie Wildschwein x Duroc (WIDU) und Large Black (LB) keine Unterschiede bestehen, wurden diese jeweils zu Pietrain x DEDL (PI-DEDL) bzw. PI-WIDULB zusammengefasst.

3.2 Versuchsdurchführung

Der Tierversuch ist unter folgenden Aktenzeichen bei der Regierung von Oberbayern vermerkt: Gz: 55.2-1-54-2532.2-14-12; 55.2-1-54-2532.2-60-07; 55.2-1-54-2531.2-22-08.

Die Versuchstiere wurden mit jeweils ca. 150 Lebenstagen einen Tag vor dem Versuch gruppenweise umgestallt. Sie wurden ca. zwölf Stunden nüchtern gehalten, um die Gefahr einer Aspirationspneumonie durch Erbrechen während der Narkose zu verrin-

Tabelle 3.2: Verwendete Eber inklusive Anzahl geprüfter Nachkommen aufgeteilt nach Genotypen

Ebername	DEDL	DUSH	DULB	WIDULB	gesamte Anzahl
Bengal	8	6	6	0	20
Bodal	0	0	8	0	8
Bono	9	0	0	0	9
Bordist	0	5	21	0	26
Bosco	0	8	7	0	15
Chucky	0	10	0	0	10
Fatix	0	0	0	8	8
Marex	0	0	0	18	18
Moldan	0	0	26	0	26
Moos	5	17	16	0	38
Mufo	0	21	0	0	21
Mulus	15	0	0	0	15
Mund	7	0	0	0	7
Pilot	0	0	0	11	11
Riban	9	0	0	0	9
Rinne	8	6	6	22	42
Roxon	0	0	0	8	8
Vegas	0	0	4	0	4
Vupa	0	2	0	0	2
Wadolf	16	0	0	0	16
Zakel	47	0	19	0	66
Zaguli	0	9	0	0	9
Zalem	9	0	13	0	22
Zanax	0	0	8	0	8
Zanik	7	8	0	0	15
Zapos	4	0	7	0	11
Zaron	11	0	0	0	11
Zatop	0	8	0	0	8

Tabelle 3.3: Verwendete Sauen inklusive Anzahl geprüfter Nachkommen in Abhängigkeit vom Genotyp

Mutterrasse	Mutternummer	Anzahl der geprüften Nachkommen
DULB	5280	10
	5282	30
	5284	31
	5285	8
	5288	24
	6852	5
	6854	13
	6855	20
DUSH	5898	28
	5901	10
	5902	24
	5903	30
	6397	8
DEDL	2058	7
	2876	24
	5418	31
	6486	16
	6489	7
	6499	20
	6600	17
	6604	28
	8674	5
WIDULB	4197	30
	4276	37

Tabelle 3.4: Anzahl Versuchstiere

Hybrid	Anzahl
PI-DEDL	155
PI-DULB	141
PI-WIDULB	67
PI-DUSH	100

gern. Danach wurde jedes Tier in eine Waage getrieben und dort anhand des ermittelten Gewichtes in Narkose gelegt. Dazu wurde zuerst zur Beruhigung Stresnil (Wirkstoff Azaperon, 2 mg/kg KGW der Firma Janssen Animal, Neuss) und anschließend Ursotamin (Wirkstoff: Ketamin 30 mg/kg KGW der Firma Serumwerk Bernburg AG, Bernburg) intramuskulär verabreicht. Im schlafenden Zustand wurde das Schwein aus der Waage auf einen höhenverstellbaren Wagen umgelagert. Dabei konnten Exzitationen beobachtet werden. Weitere bekannte Nebenwirkungen von Ursotamin sind Hypersalivation, die bei fast jedem Tier auftraten. Auf dem Transportwagen wurde eine Braunüle in die Vena auricularis gelegt, um schnell Ursotamin nachgeben zu können, falls das Tier während der Untersuchung aufwachen sollte. Danach wurde es zuerst zur Untersuchung in den Magnetresonanztomographen und anschließend auf das DXA-Gerät gebracht. Nach den Untersuchungen wurde die Braunüle gezogen und das Tier zum Aufwachen in eine mit Stroh bedeckte Box gelegt.

3.2.1 Untersuchung mittels MRT

Für den Versuch wurde ein Siemens Magnetom Open verwendet. Es handelt sich hierbei um ein offenes System, welches mit einer Feldstärke von 0,2 Tesla arbeitet. Die Untersuchung wurde mit der Spule „large body coil“ durchgeführt und die Sequenz war T1-gewichtet. Das Schwein wurde zunächst zum MR-Tomographen gebracht und in Bauchlage positioniert. Die Beine wurden nach vorne bzw. nach hinten ausgestreckt, um eine stabile Position zu erlangen. Zudem wird durch diese Positionierung eine Beeinflussung der Auswertung durch Druckartefakte verhindert, wie es zum Beispiel bei seitlicher Lagerung der Fall wäre. Es wurden im Bereich der Lende (Orientierung am letzten Rippenbogen) und des Schinkens (M. rectus femoris, M. vastus, M. satorius, M. gracilis, M. semimembranosus, M. semitendinosus, M. biceps femoris, M. adductor) jeweils zehn Schnittbilder im Abstand von 3,75 mm aufgenommen. Um die zehn Schnittebenen reproduzierbar positionieren zu können, wurde zuerst jeweils ein Scoutscan (Übersichtsbild) von allen drei Ebenen erstellt.

Exakte Positionierung und Auswertung der Schnittbilder im Lendenbereich

Der letzte Rippenbogen des Schweines wurde etwa in der Mitte der Spule positioniert. Die Anordnung der zehn transversalen Schnittbilder (welche in der Abbildung 3.1 auf der nächsten Seite als blaue Linien dargestellt sind) erfolgte anhand des Übersichtsbildes (Scoutbild) in der coronaren Ebene. Demnach wurde der vierte Schnitt auf den Ursprung

des letzten Rippenbogens gelegt (siehe Abbildung 3.1). Auf der rechten Seite sind die zehn transversalen Schnittbilder dargestellt. Die einzelnen Scheiben haben eine Schichtdicke von 15 mm. Diese Übersichtsaufnahme dauert ca. eine Minute. Die Aufnahmen der zehn Scheiben dauern jeweils ca. drei Minuten. Anschließend wurden mittels Able Software 3D Doktor (Able Software Corp., Lexington, MA, USA, <http://www.ablesw.com/>) vier transversale Schnittbilder caudal des letzten Rippenbogens manuell ausgewertet. Diese Auswertungsmethode wurde bereits in der Dissertation von Bernau [2011] verwendet. Die Muskulatur, bestehend aus dem M. longissimus und den Mm. multifidi und das senkrecht dazu befindliche Fettgewebe, wurde möglichst bei allen Bildern gleichartig manuell umfahren. Aus Gründen der besseren Wiederholbarkeit wurde der Dornfortsatz (processus spinosus) bei jedem Bild in die Muskelfläche mit einbezogen (siehe Abbildung 3.2 auf der nächsten Seite). Zudem wurden alle MRT-Bilder (Schinken und Thorax/Lende) von nur einer Person ausgewertet, sodass der Einfluss durch subjektiv unterschiedliche Empfindungen reduziert werden konnte. Die Volumina der Muskel- und Fettschicht wurden anschließend von dem Computerprogramm berechnet und können auch dreidimensional mittels der Software dargestellt werden (siehe Abbildung 3.3 auf der nächsten Seite).

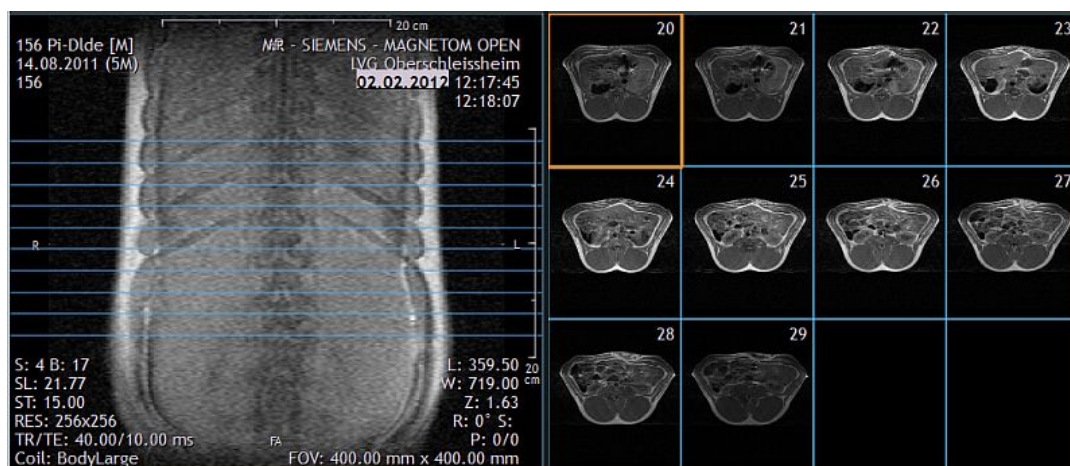


Abbildung 3.1: MRT-Aufnahme im Bereich Thorax/Lende. Links: Coronares Übersichtsbild (oben cranial, unten caudal). Die zehn blauen Linien stellen die transversale Schnittführung dar. Rechts: Die zehn entstandenen Schnittbilder

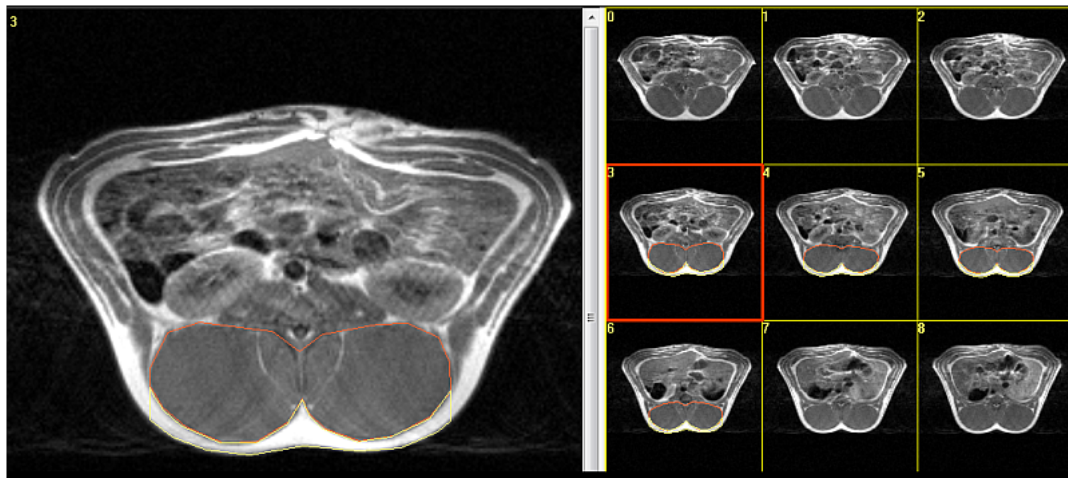


Abbildung 3.2: MRT-Aufnahme des Kotelettbereiches. Am oberen Bildrand befindet sich die Bauchdecke, am unteren Bildrand die Wirbelsäule mit dem Kotelett. In der Mitte sind Darmschlingen sowie die Anschnitte beider Nieren zu sehen.

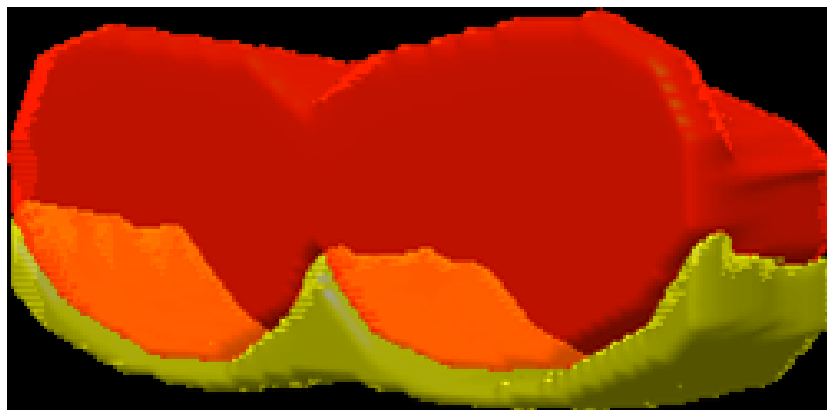


Abbildung 3.3: 3D-Modellierung des Koteletts aus vier Schnittbildern („Muskelvolumen“ rot, „Fettvolumen“ gelb)

Tabelle 3.5: Anzahl der untersuchten Versuchstiere mittels iDXA und DPX-IQ

Scanner	Anzahl der Versuchstiere	Zeitraum
nur mit DPX-IQ	96 Tiere	August 2009 – September 2010
DPX-IQ und iDXA	68 Tiere	Dezember 2010 – August 2011
nur mit iDXA	300 Tiere	August 2011 – September 2012

Exakte Positionierung und Auswertung der Schnittbilder im Bereich der Hintergliedmaßen (Schinken)

Das Schwein wurde für die Untersuchung des „Schinkenbereiches“ so in die Spule geschoben, dass der hintere Rand der Oberschenkel- und Glutealregion mit dem inneren Rand der Spule abschloss (siehe Abbildung 3.4 auf der nächsten Seite). Es wurden erneut zehn Schnitte anhand des coronaren Scouts positioniert (siehe Abbildung 3.5 auf der nächsten Seite). Beginnend an dem Schnittbild, welches charakterisiert ist durch die v-förmige Oberflächenstruktur des Os femoris (siehe Abbildung 3.6 auf Seite 73), wurden drei axiale Schnitte ausgewertet. Unter der Voraussetzung, dass der rechte und der linke Oberschenkel bzw. caudale Körperanteil gleich bemuskelt ist, wurde nur eine Körperseite ausgewertet, um die Artefakte aufgrund asymmetrischer Lagerung auszugleichen. Hierdurch erhielt man das Muskelvolumen und das daran anschließende Fettvolumen von drei aufeinanderfolgenden Scheiben. Dabei handelt es sich um Anschnitte des M. rectus femoris, M. vastus, M. satorius, M. gracilis, M. semimembranosus, M. biceps femoris, M. adductor und M. semitendinosus. Auch diese drei ausgewerteten Scheiben können mit Hilfe der Software dreidimensional dargestellt werden (siehe Abbildung 3.7 auf Seite 73).

3.2.2 Untersuchung mittels DXA

Von August 2009 bis August 2011 erfolgten die Untersuchungen mittels DXA am DPX-IQ-Scanner. Ab Dezember 2010 wurde der Scanner Lunar iDXA zusätzlich eingesetzt. Beide Scanner stammten vom Hersteller GE Lunar (GE Medical Systems Lunar, Europe, Diegem, Belgium). Ab August 2011 bis September 2012 wurde nur noch der iDXA-Scanner verwendet (siehe Tabelle 3.5). Bei fünf Tieren konnten die Daten aufgrund von Bewegungsartefakten nicht ausgewertet werden.

Am Scanner wurde zu Beginn jeden Scantages eine Qualitätskontrolle durchgeführt, indem die korrekte Messfähigkeit an einem Phantom kontrolliert wurde. Anschließend wurde jedes Schwein in Bauchlage auf dem DXA-Tisch positioniert (siehe Abbildung 3.8 auf Seite 74), wobei die Hinterfüße ausgestreckt und die Vorderfüße nach hinten ange-



Abbildung 3.4: Positionierung des Tieres im MRT zur Aufnahme des „Schinkenbereiches“

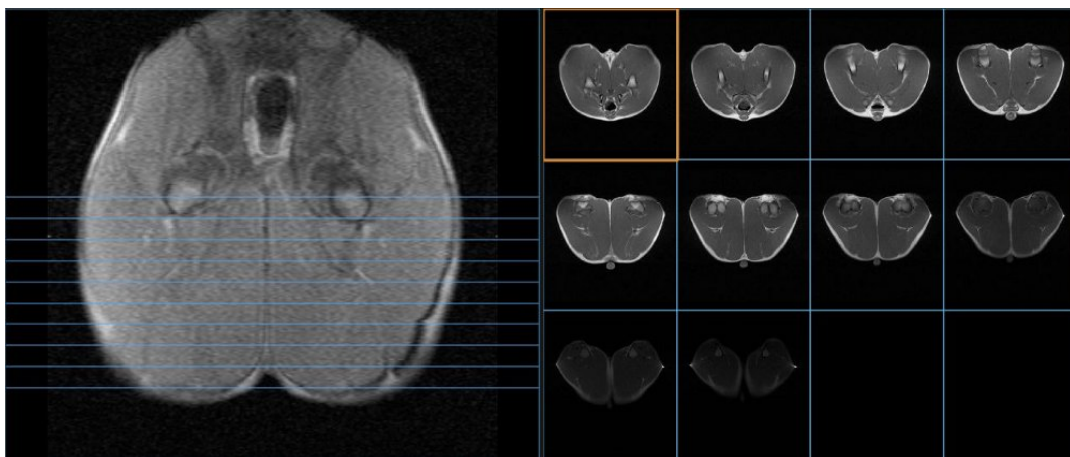


Abbildung 3.5: Übersichtsbild (scout) im Bereich des Schinkens

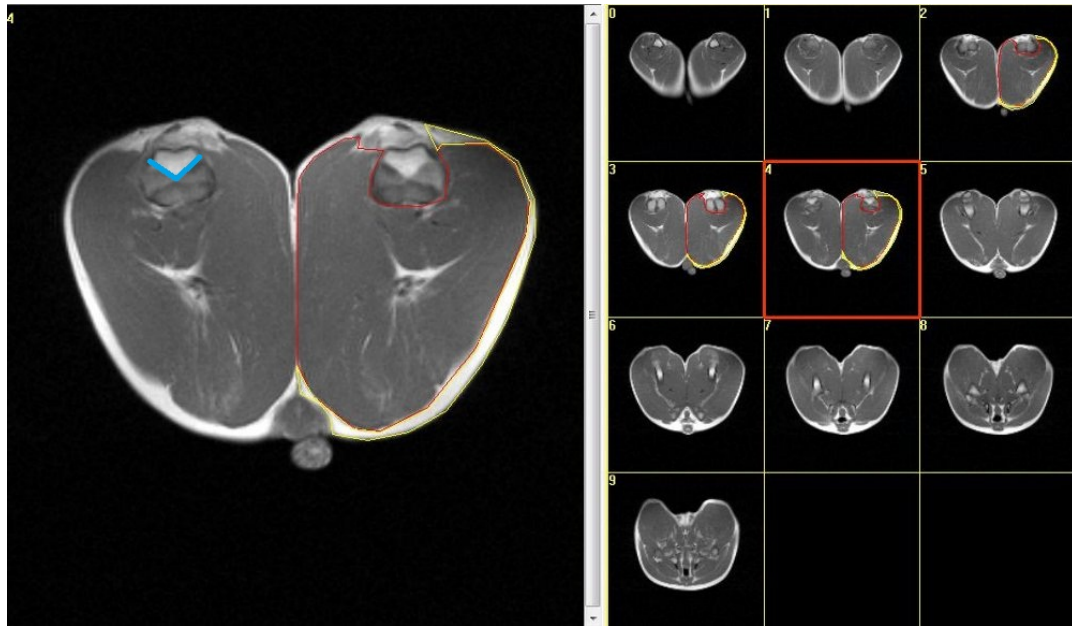


Abbildung 3.6: MRT-Aufnahme des Hintergliedmaßenbereiches (Schinkens) mit manueller Definition der Muskel- und Fettfläche. Blau markiert die charakteristische v-förmige Fläche des Os femoris

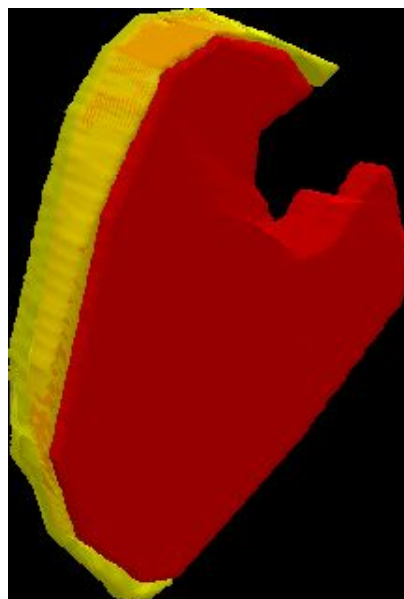


Abbildung 3.7: 3D-Darstellung des analysierten Schinkenbereiches („Muskelvolumen“ rot, „Fettvolumen“ gelb)

winkelt wurden. Der Arm des Gerätes fuhr von rostral nach caudal, mäanderförmig über das Tier und erstellte ein Übersichtsbild des kompletten Schweines. Der Modus „Ganzkörper DICK“ wurde gewählt. Für den DPX-IQ-Scanner erfolgte der Ganzkörperscan mit dem Modus „Adult-Normal“.



Abbildung 3.8: Lagerung der Tiere auf dem iDXA-Scanner

Der Computer errechnet nach etwa 25-minütiger Scandauer mit dem DPX-IQ automatisch die Werte: Knochenmineraldichte [g/cm^2] (engl. bone mineral density; BMD), Knochenmineralgehalt [g] (engl. bone mineral content, BMC), Gewebe [g] (entspricht der Summe aus Fett- und Magerweichgewebe), Fett [g] und Magerweichgewebe [g]. Die Ganzkörper-Scandauer des iDXA-Systems betrug maximal nur 13 Minuten. Die Analyseergebnisse der DXA-Systeme sind im Gegensatz zum MRT nicht von der auswertenden Person abhängig. Nachträglich wurden die Ganzkörperscans manuell in vier Körperregionen (engl. regions of interest, ROIs) eingeteilt (siehe Abbildung 3.9 auf Seite 76):

1. Körperregion: besteht aus dem Kopf einschließlich des ersten Halswirbel (Atlas), welcher durch seine schmale aber breite Fläche charakterisiert ist.

2. Körperregion: beinhaltet den Schulterbereich bis zum letzten Rippenbogen.
3. Körperregion: beginnt caudal der Rippenbögen bis zu den cranialen Enden des Os sacrum.
4. Körperregion: enthält das Becken mit den Hintergliedmaßen.

Die Einteilung erfolgte wie auch schon bei der Auswertung der MRT-Bilder nur durch eine Person, um subjektive Eindrücke zu vermeiden und eine möglichst einheitliche Auswertung sicherzustellen. Für die statistische Berechnung wurden zusätzlich die Ganzkörperscans des DXA-Vorgängermodells DPX-IQ von der Firma GE Lunar verwendet. Diese Bilder wurden ebenfalls manuell in die oben beschriebenen Körperregionen eingeteilt. Durch die Analyse der einzelnen Körperregionen können diese Teilbereiche untereinander in ihrer Körperzusammensetzung verglichen werden. Zudem kann der Frage nachgegangen werden, ob eine Vorhersage der Gesamtkörperzusammensetzung mittels einzelner Regionen möglich ist.

3.3 Statistische Auswertungen

Die statistische Auswertung aller Daten erfolgte mit Hilfe von Varianzanalysen mittels der Statistiksoftware SAS 9.3. Dabei wurde mit der REML-Schätzmethode (restricted maximum likelihood) gearbeitet. Folgende fixe Effekte wurden berücksichtigt: Kreuzungsgenotyp, Geschlecht, Alter als Covariable und der Scanner – allein bei der Auswertung von DXA-Daten. Als zufällige Effekte wurde das Scandatum, Vater und Mutterwurfnummer ausgewählt. Um statistisch signifikante Unterschiede (dargestellt mit unterschiedlichen Superskripts) zu ermitteln, wurden F- und t-Tests durchgeführt, wobei die Signifikanzgrenze jeweils bei $p \leq 0,05$ festgesetzt wurde.

3.3.1 MRT

MRT Kotelett

Für die statistische Auswertung der vier Scheiben des Koteletts, welche wie im Kapitel 3.2.1 auf Seite 68 beschrieben manuell analysiert wurden, standen 458 Datensätze zur Verfügung.

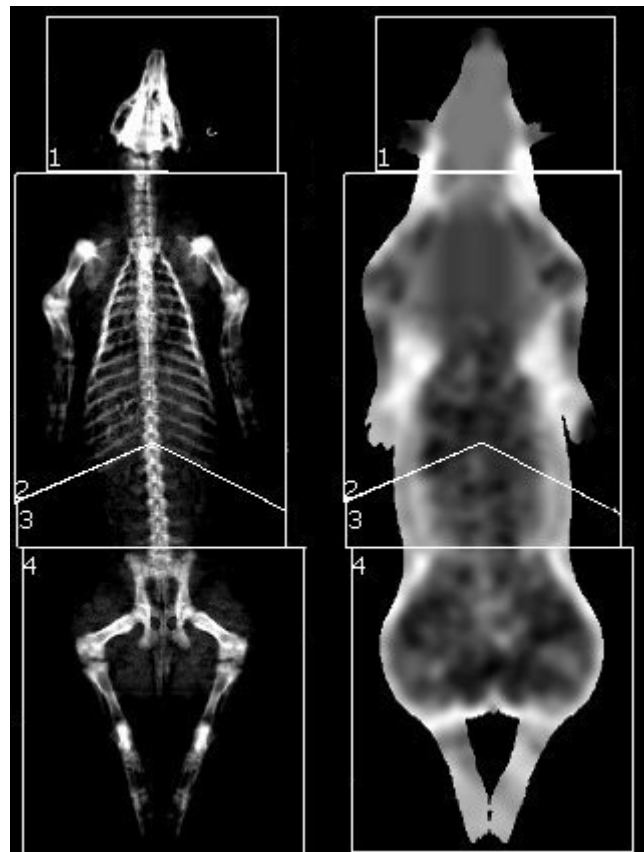


Abbildung 3.9: Die vier manuell definierten Körperregionen eines DXA-Ganzkörperscans (links: Darstellung des Skeletts, rechts: Weichgewebe)

Die folgenden Gleichungen beschreiben die Berechnung des Gesamtvolumens sowie des prozentualen Fett- und Muskelgehaltes:

$$\begin{aligned}\text{Gesamtvolumen [cm}^3\text{]} &= \text{Kotelettmuskelvolumen [cm}^3\text{]} + \text{Fettvolumen [cm}^3\text{]} \\ \text{Kotelett Fett PC [\%]} &= \frac{\text{Fettvolumen [cm}^3\text{]}}{\text{Gesamtvolumen [cm}^3\text{]}} \cdot 100 \\ \text{Kotelett Muskel PC [\%]} &= \frac{\text{Kotelettmuskelvolumen [cm}^3\text{]}}{\text{Gesamtvolumen [cm}^3\text{]}} \cdot 100\end{aligned}$$

MRT Schinken

Für die Auswertung des Schinkens wurden 456 Datensätze untersucht.

Die folgenden drei Gleichungen beschreiben die Berechnungen des prozentualen Fett- und Muskelanteils sowie des Schinkenvolumens:

$$\begin{aligned}\text{Schinkenvolumen [cm}^3\text{]} &= \text{Schinkenmuskelvolumen [cm}^3\text{]} + \text{Schinkenfettvolumen [cm}^3\text{]} \\ \text{Schinken Fett PC [\%]} &= \frac{\text{Schinkenfettvolumen [cm}^3\text{]}}{\text{Schinkenvolumen [cm}^3\text{]}} \cdot 100 \\ \text{Schinken Muskel PC [\%]} &= \frac{\text{Schinkenmuskelvolumen [cm}^3\text{]}}{\text{Schinkenvolumen [cm}^3\text{]}} \cdot 100\end{aligned}$$

3.3.2 DXA

Für die Ganzkörperuntersuchung mittels DXA wurden jeweils 458 Datensätze ausgewertet. Für die statistische Auswertung der Körperregionen standen 454 Datensätze zur Verfügung. Auf die genaue Beschreibung zur Einteilung des Ganzkörperscans in vier Teilbereiche wurde im Kapitel 3.2.2 auf Seite 71 eingegangen.

Die folgenden Gleichungen beschreiben die Berechnungen des prozentualen Fett- und Magerweichgewebeanteils (Fett PC und Mager PC) sowie die Auswertung des prozentualen Knochenmineralgehaltes (BMC PC). Die Gewichtsrechnung wird in der vierten

Gleichung dargestellt.

$$\begin{aligned} \text{DXA Fett PC [\%]} &= \frac{\text{DXA Fett [g]}}{\text{DXA Gewicht [g]}} \cdot 100 \\ \text{DXA Mager PC [\%]} &= \frac{\text{DXA Mager [g]}}{\text{DXA Gewicht [g]}} \cdot 100 \\ \text{DXA BMC PC [\%]} &= \frac{\text{DXA BMC [g]}}{\text{DXA Gewicht [g]}} \cdot 100 \\ \text{DXA Gewicht [g]} &= \text{DXA Mager [g]} + \text{DXA Fett [g]} + \text{DXA BMC [g]} \end{aligned}$$

3.3.3 Sonstige Auswertungen

Körpergewicht Waage

Für die Auswertungen des Körpergewichtes mittels Waage standen 458 Datensätze zur Verfügung. Folgendes statistisches Modell wurde verwendet:

$$\text{Gewicht} = R_i + G_j + \beta \text{Alter}_{i,j,k} + \text{Restfehler}_{i,j,k}$$

R_i : Kreuzungsgenotypen, $i \in \{1, 2, 3, 4\}$

G_j : Geschlecht, $j \in \{1, 2\}$

Alter

Für die statistische Berechnung des Alters der Tiere wurden 458 Datensätze ausgewertet. Folgendes statistisches Modell wurde verwendet:

$$\text{Alter} = R_i + G_j + S_k + \text{Restfehler}_{i,j,k,l}$$

R_i : Kreuzungsgenotypen $i \in \{1, 2, 3, 4\}$

G_j : Geschlecht, $j \in \{1, 2\}$

S_k : Scanner, $k \in \{1, 2\}$

Fruchtbarkeit

Die statistische Auswertung der 463 Datensätze zur Fruchtbarkeit erfolgte ebenfalls mittels der Statistiksoftware SAS 9.3. Als fixer Effekt wurde der Kreuzungsgenotyp ausgewählt, als zufällige Effekte wurden Vater, Mutternummer und Mutterwurf berücksichtigt.

4 Ergebnisse

In den folgenden Tabellen wird der kleinste Quadrate Mittelwert jeweils mit LSM (Least Squares Means) und die Standardschätzfehler mit \pm SEE (Standard Error of the Estimate) abgekürzt. In folgenden vergleichenden Darstellungen der MRT- und DXA-Ergebnisse wird v.a. auf die prozentualen Werte eingegangen. So werden bei der Schlachtkörperbeurteilung der Schweine auch vorwiegend die prozentualen Werte erfasst und die Tiere damit untereinander vergleichbar gemacht. Zudem ist durch die Berücksichtigung des Gewichtes bei der prozentualen Darstellung ein aussagekräftigeres Urteil möglich. Betrachtet man beispielsweise die Ergebnisse des Magerweichgewebes der dritten Körperregion, so hätte PI-WIDULB absolut mit 9.885 g mit Abstand am wenigsten Magerweichgewebe. Wird jedoch das geringere Körpergewicht des Wildschweinhybrids in der Auswertung berücksichtigt, so zeigt sich, dass nicht PI-WIDULB, sondern PI-DULB (bei absolut 10.394 g) den geringsten prozentualen Magerweichgewebeanteil besitzt.

4.1 MRT-Ergebnisse

4.1.1 MRT Kotelett

Die Tabelle 4.1 auf der nächsten Seite beinhaltet die kleinsten Quadrate Mittelwerte (\pm Standardschätzfehler) für die absoluten und prozentualen Messwerte der Volumina des Kotelettmuskels und des darüberliegenden Speckvolumens. Zudem stellt sie die signifikanten Unterschiede der Kreuzungsgenotypen bzw. Geschlechter mittels hochgestellter Kleinbuchstaben dar.

PI-DULB und PI-WIDULB zeigen mit 229 cm³ bzw. 206 cm³ das höchste Kotelett-Fettvolumen. Diese Hybriden unterscheiden sich dabei prozentual signifikant von PI-DUSH und PI-DEDL. Letztgenannte Kreuzungsgenotypen unterscheiden sich prozentual

Tabelle 4.1: Ergebnisse MRT Kotelettregion (LSM \pm SEE)

Genotyp/ Geschlecht	Fett [cm ³]	Fett PC [%]	Kotelett [cm ³]	Kotelett PC [%]	Gesamtvolumen Kotelett + Fettauflage [cm ³]
PI-DULB	229 \pm 11 ^b	20,4 \pm 0,6 ^a	869 \pm 20 ^b	79,6 \pm 0,6 ^a	1096 \pm 29 ^a
PI-DUSH	160 \pm 12 ^a	15,7 \pm 0,7 ^b	866 \pm 23 ^b	84,3 \pm 0,7 ^b	1024 \pm 32 ^b
PI-DEDL	198 \pm 11 ^c	16,9 \pm 0,7 ^b	961 \pm 21 ^a	83,1 \pm 0,7 ^b	1155 \pm 30 ^c
PI-WIDULB	206 \pm 16 ^{bc}	19,6 \pm 0,9 ^a	846 \pm 30 ^b	80,4 \pm 0,9 ^a	1064 \pm 42 ^{ab}
mk	223 \pm 9 ^y	20 \pm 0,5 ^y	880 \pm 18	80 \pm 0,5 ^y	1104 \pm 25 ^y
w	173 \pm 9 ^x	16,2 \pm 0,5 ^x	891 \pm 17	83,8 \pm 0,5 ^x	1065 \pm 25 ^x

Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$).

mit 15,7 % bzw. 16,9 % nicht signifikant voneinander. Kastraten verfügen sowohl absolut als auch prozentual über signifikant mehr Fettauflage als die weiblichen Probanden.

PI-DUSH besitzt mit 84,3 % den höchsten Muskelanteil am Kotelett, unterscheidet sich jedoch nicht signifikant von PI-DEDL mit 83,1 %. PI-DULB und PI-WIDULB (79,6 bzw. 80,4 %) unterscheiden sich signifikant von PI-DEDL und PI-DUSH. Kastraten weisen deutlich weniger prozentualen Muskelanteil im Kotelett als Sauen auf.

PI-DEDL besitzt mit 1.155 cm³ das größte Kotelettvolumen und unterscheidet sich damit signifikant von allen alternativen Hybriden. PI-DUSH weist zwar mit 1.024 cm³ das geringste Volumen auf, jedoch zeichnet sich das Kotelett bei diesem Hybriden, wie bereits erwähnt, durch einen sehr geringen Fettanteil aus.

4.1.2 MRT Schinken

Die Tabelle 4.2 auf der nächsten Seite stellt die kleinsten Quadrate Mittelwerte (\pm Standardschätzfehler) für die Auswertungen der Schinkenhälften, wie im Kapitel 3.2.1 auf Seite 71 beschrieben, im Vergleich der Hybriden und des Geschlechts dar. Ergänzend muss bei den Signifikanzen darauf hingewiesen werden, dass sich die beiden Hybriden PI-DEDL und PI-WIDULB bei der Auswertung von Fett mit einem p – Wert = 0,0732 sehr nahe an der Grenze zur Signifikanz befinden. Im Bereich von Muskel befinden sich PI-DEDL und PI-DUSH mit p = 0,075 nahe der Signifikanzgrenze. Ebenso verhält es sich mit p = 0,064 zwischen PI-DULB und PI-WIDULB.

Der Kreuzungsgenotyp PI-DULB verfügt mit 195 cm³ über die größte Fettauflage im Bereich des Schinkens. Die Hybriden PI-DUSH und PI-WIDULB besitzen mit 169 bzw. 162 cm³ das geringste Fettvolumen, wobei sich prozentual als auch absolut kein signifi-

Tabelle 4.2: Ergebnisse MRT Schinkenregion (LSM \pm SEE)

Genotyp/ Geschlecht	Fett [cm ³]	Fett PC [%]	Muskel [cm ³]	Muskel PC [%]	Schinkenvol. [cm ³]
PI-DULB	195 \pm 10 ^a	11, 2 \pm 0, 4 ^a	1523 \pm 34 ^{ab}	88, 8 \pm 0, 4 ^a	1711 \pm 42 ^a
PI-DUSH	169 \pm 11 ^b	9, 6 \pm 0, 4 ^b	1554 \pm 38 ^{bc}	90, 4 \pm 0, 4 ^b	1712 \pm 47 ^a
PI-DEDL	186 \pm 10 ^{ab}	10, 3 \pm 0, 4 ^b	1626 \pm 35 ^c	89, 7 \pm 0, 4 ^b	1809 \pm 44 ^b
PI-WIDULB	162 \pm 12 ^b	10, 3 \pm 0, 5 ^{ab}	1426 \pm 48 ^a	89, 7 \pm 0, 5 ^{ab}	1609 \pm 58 ^a
mk	192 \pm 8 ^y	11, 1 \pm 0, 3 ^y	1535 \pm 30	88, 9 \pm 0, 3 ^y	1727 \pm 37 ^y
w	163 \pm 8 ^x	9, 6 \pm 0, 3 ^x	1529 \pm 29	90, 4 \pm 0, 3 ^x	1693 \pm 37 ^x

Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$).

kanter Unterschied zum Hybriden PI-DEDL darstellen lässt. Prozentual unterscheidet sich PI-WIDULB nicht signifikant im Fettgehalt von PI-DULB. Die männlich kastrierten Probanden zeigen absolut und prozentual ein deutlich höheres Fettvolumen als die weiblichen Tiere.

Das höchste absolute und prozentuale Schinkenmuskelvolumen kann bei PI-DEDL und PI-DUSH festgestellt werden. Die beiden Kreuzungsgenotypen unterscheiden sich bei Betrachtung der prozentualen Werte signifikant von PI-DULB. Letztgenannte weist jedoch mit 88,8 % Muskelanteil keinen deutlichen Unterschied zu PI-WIDULB (89,7 %) auf. Bei Betrachtung der prozentualen Werte verfügen die Kastraten mit 88,9 % über signifikant weniger Muskelvolumen als weibliche Tiere mit 90,4 %.

Das Schinkenvolumen wurde ebenfalls auf ein einheitliches Alter korrigiert. Das bedeutet, dass die Hybriden abhängig von ihrem Körpergewicht und unabhängig von ihrem Alter folgende Schinkenmassen zeigten: Obwohl PI-WIDULB deutlich kleinere Schweine sind, zeigen sie keinen signifikanten Unterschied im absoluten Schinkenvolumen bei der Auswertung der drei Schnittbilder zu PI-DULB und PI-DUSH. PI-DEDL besitzt mit 1.809 cm³ signifikant mehr Schinkenvolumen als alle alternativen Hybriden, jedoch ist dieses auch mit 92 kg der schwerste Kreuzungsgenotyp (siehe 4.13 auf Seite 93).

4.1.3 Zusammenfassung MRT-Ergebnisse

Zusammenfassend für die prozentualen Ergebnisse des Koteletts und Schinkens kann folgendes festgehalten werden:

- Kastraten haben deutlich weniger Muskelvolumen und mehr Fett im Kotelettbereich und Schinkenbereich als Sauen.

Tabelle 4.3: Ergebnisse DXA Ganzkörperscan (GK), (LSM \pm SEE)

Genotyp/ Geschlecht	Fett [g]	Mager [g]	BMC [g]	BMD [g/cm ²]	Gewicht [g]
PI-DULB	16937 \pm 914 ^a	68626 \pm 1576 ^b	2.024 \pm 47	1,04 \pm 0,02 ^b	87749 \pm 2279
PI-DUSH	13129 \pm 945 ^b	69899 \pm 1707 ^b	2.083 \pm 50	1,04 \pm 0,02 ^b	85030 \pm 2432
PI-DEDL	14169 \pm 979 ^b	73885 \pm 1833 ^a	2.094 \pm 53	0,98 \pm 0,02 ^a	90433 \pm 2609
PI-WIDULB	14326 \pm 1188 ^b	65527 \pm 1917 ^b	1.954 \pm 61	1,04 \pm 0,02 ^b	81968 \pm 2866
mk	16493 \pm 789 ^y	70269 \pm 1358 ^y	2.061 \pm 40 ^y	1,03 \pm 0,01	88956 \pm 1962 ^y
w	12788 \pm 787 ^x	68700 \pm 1338 ^x	2.017 \pm 39 ^x	1,02 \pm 0,01	83634 \pm 1941 ^x

Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$).

- PI-DULB besitzt am meisten Fett und am wenigsten Muskelvolumen im Kotelett und Schinken und unterscheidet sich nicht signifikant von PI-WIDULB.
- PI-DUSH und PI-DEDL unterscheiden sich in ihrer prozentualen Zusammensetzung nicht signifikant voneinander und weisen am meisten Muskelvolumen bei verhältnismäßig wenig Fettgewebe auf.

4.2 DXA-Ergebnisse

4.2.1 Ganzkörperuntersuchung

Die Tabelle 4.3 beinhaltet die Ergebnisse der Ganzkörperanalyse von Fett [g], Magerweichgewebe [g], Knochenmineralgehalt (= Bone mineral content, BMC) [g], Knochenmineraldichte (Bone mineral density, BMD) [g/cm²] und das Gewicht [g], welches aus der Summe von BMC, Fett- und Magerweichgewebe errechnet wurde. Die Tabelle 4.4 auf der nächsten Seite beinhaltet den prozentualen Anteil von Fett- (Fett PC), Magerweichgewebe (Mager PC) und Knochenmineralgehalt (BMC PC) am Körpergewicht. Auch hier wurden unterschiedliche Superskripts bei einem p -Wert $\leq 0,05$ vergeben. Bei folgenden Parametern wurde die Signifikanzgrenzen nur knapp nicht erreicht: Bei dem Parameter DXA Fett PC unterscheidet sich PI-WIDULB mit $p = 0,0595$ nicht signifikant von PI-DEDL. Bezüglich des Ganzkörpermagerweichgewebes liegt PI-DUSH verglichen mit dem Kreuzungsgenotypen PI-WIDULB mit $p = 0,0559$ gerade an der Grenze zur Signifikanz. Die Signifikanzgrenze beim Vergleich von PI-WIDULB und PI-DEDL wurde bei der prozentualen Magerweichgewebeauswertung mit $p = 0,0585$ geringfügig überschritten.

Während sich die Hybriden PI-DUSH (13.129 g), PI-WIDULB (14.326 g) und PI-

Tabelle 4.4: Ergebnisse DXA Ganzkörperscan (GK) in Prozent (PC), (LSM \pm SEE)

Genotyp/ Geschlecht	Fett [%]	Mager [%]	BMC [%]
PI-DULB	18,6 \pm 0,7 ^a	79,1 \pm 0,7 ^a	2,34 \pm 0,03 ^a
PI-DUSH	15 \pm 0,7 ^c	82,5 \pm 0,7 ^c	2,44 \pm 0,03 ^b
PI-DEDL	15,2 \pm 0,7 ^{bc}	82,4 \pm 0,7 ^{bc}	2,36 \pm 0,03 ^c
PI-WIDULB	17,2 \pm 0,9 ^{ab}	80,5 \pm 0,9 ^{ab}	2,39 \pm 0,03 ^d
mk	18 \pm 0,6 ^y	79,7 \pm 0,6 ^y	2,35 \pm 0,02 ^y
w	15 \pm 0,6 ^x	82,6 \pm 0,6 ^x	2,43 \pm 0,02 ^x

Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$).

DEDL (14.169 g) absolut bzgl. des Ganzkörperfettgewebes nicht signifikant unterscheiden, verfügt PI-DULB mit 16.937 g über den mit Abstand höchsten Ganzkörperfettgehalt. Prozentual jedoch unterscheidet sich PI-DULB nicht signifikant von PI-WIDULB. PI-DUSH weist prozentual mit 15 % am wenigsten Fettanteil auf, dicht gefolgt von PI-DEDL (15,2 %). Kastraten unterscheiden sich absolut und prozentual mit ihrem deutlich höheren Fettgehalt signifikant von Sauen.

PI-DEDL besitzt absolut mit 73.885 g den höchsten Magerweichgewebegehalt und unterscheidet sich damit signifikant von den alternativen Hybriden. Prozentual jedoch zeigt PI-DEDL (82,4 %) keine signifikanten Unterschiede zu PI-DUSH (82,5 %). Absolut und prozentual können bei PI-DULB und PI-WIDULB keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. PI-DULB weist mit nur 79,1 % das geringste Ganzkörpermagerweichgewebe auf. Kastraten mit 70.269 g verfügen über deutlich mehr Magerweichgewebe als Sauen (68.700 g). Bezogen auf das Körpergewicht jedoch zeigen die männlichen Tiere mit 79,7 % signifikant weniger Magerweichgewebe als weibliche Tiere (82,6 %).

Durch die absoluten Werte des Knochenmineralgehaltes (BMC) können keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Hybriden festgestellt werden. Lediglich männlich, kastrierte Tiere verfügen mit 2.061 g über signifikant mehr Knochenmineralgehalt als weibliche Tiere (2.017 g). Bei der Betrachtung der prozentualen Werte können jedoch signifikante Unterschiede festgestellt werden. So unterscheiden sich alle Genotypen signifikant voneinander. PI-DULB besitzt mit nur 2,34 % am wenigsten Knochenmineralgehalt, obwohl er innerhalb der alternativen Hybriden der schwerste Genotyp (87,7 kg) ist. Genauso verhält es sich bei PI-DEDL. Als schwerster Genotyp (90,4 kg) besitzt er nur 2,36 % Knochenmineralgehalt. Ein deutlich besseres Verhältnis zeigt sich bei PI-WIDULB und PI-DUSH. PI-WIDULB besitzt mit seinem geringen Körpergewicht

(82 kg) einen höheren prozentualen Knochenmineralgehalt (2,39 %). PI-DUSH weist mit 85 kg KGW den prozentual höchsten Knochenmineralgehalt mit 2,44 % auf.

Während sich innerhalb der alternativen Hybriden keine Unterschiede bezüglich der Knochenmineraldichte darstellen lassen, unterscheiden sich diese (mit jeweils 1,04 g/cm²) jedoch signifikant von dem konventionellen Hybriden PI-DEDL. Letzterer weist mit 0,98 g/cm² die geringste Knochenmineraldichte auf, obwohl es der schwerste Genotyp ist. Bezüglich dem Geschlecht sind keine nennenswerten Differenzen vorhanden.

Bereits der F-Test zeigte, dass bzgl. des Ganzkörpergewichtes keine statistisch relevanten Unterschiede zwischen den untersuchten Hybriden bestehen. Für den Mäster jedoch können z.B. die annähernd 9 kg Körpergewichtsdifferenz zwischen PI-WIDULB und PI-DEDL bei gleichem Alter sehr bedeutsam sein. Diese Werte zeigen auf, dass PI-WIDULB eine deutlich längere Mastzeit benötigt. Damit fallen auch höhere Aufzuchtskosten als z.B. bei PI-DULB oder PI-DEDL an. PI-DEDL weist mit 90.433 g das höchste Gewicht und PI-WIDULB mit 81.968 g das geringste Körpergewicht auf. Kastraten sind dagegen (bei gleichem Alter) signifikant schwerer als Sauen (88.956 g zu 83.634 g).

Zusammenfassung Ganzkörperanalyse

- PI-DULB weist prozentual und absolut den höchsten Fettgehalt auf. PI-DUSH und PI-DEDL besitzen absolut und prozentual den geringsten Fettgehalt und unterscheiden sich nicht signifikant voneinander. PI-WIDULB unterscheidet sich ebenfalls prozentual und absolut nicht signifikant von PI-DEDL.
- Prozentual zeigt PI-DULB den geringsten Magerweichgewebegehalt. PI-WIDULB nimmt, wie auch beim Fettgewebe, eine Zwischenposition ein, wodurch es sich prozentual weder von PI-DEDL noch von PI-DULB signifikant unterscheidet. PI-DUSH und PI-DEDL weisen den höchsten Magerweichgewebegehalt auf.
- PI-DUSH verfügt über den höchsten prozentualen Knochenmineralgehalt. PI-DEDL besitzt am wenigsten Knochenmineraldichte, wodurch es sich auch signifikant von den drei alternativen Hybriden unterscheidet.
- In gleicher Mastzeit mit annähernd gleicher Fütterung (siehe 9.1 auf Seite 130) und Haltung zeigt PI-DEDL die höchste Zuwachsrate, während PI-WIDULB mit knapp 9 kg Differenz deutlich langsamer wächst.

Tabelle 4.5: DXA-Ergebnisse der ersten Körperregion (1. ROI), (LSM \pm SEE)

Genotyp/ Geschlecht	Fett [g]	Mager [g]	BMC [g]	BMD [g/cm ²]	Gewicht [g]
PI-DULB	1627 \pm 58 ^a	4577 \pm 92	367 \pm 11	1,82 \pm 0,04 ^a	6593 \pm 144
PI-DUSH	1458 \pm 62 ^b	4441 \pm 95	371 \pm 11	1,8 \pm 0,04 ^a	6283 \pm 150
PI-DEDL	1463 \pm 66 ^b	4567 \pm 100	357 \pm 12	1,7 \pm 0,05 ^b	6425 \pm 157
PI-WIDULB	1428 \pm 72 ^b	4412 \pm 121	368 \pm 12	1,83 \pm 0,05 ^a	6228 \pm 188
mk	1591 \pm 50 ^y	4597 \pm 76 ^y	369 \pm 9	1,8 \pm 0,04	6581 \pm 121 ^y
w	1397 \pm 49 ^x	4402 \pm 76 ^x	362 \pm 9	1,78 \pm 0,04	6184 \pm 120 ^x

Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$).

Tabelle 4.6: DXA-Ergebnisse der ersten Körperregion in Prozent (1. ROI PC), (LSM \pm SEE)

Genotyp/ Geschlecht	Fett PC [%]	Mager PC [%]	BMC PC [%]
PI-DULB	24,6 \pm 0,4 ^a	69,7 \pm 0,4 ^a	5,69 \pm 0,12 ^{ac}
PI-DUSH	23,2 \pm 0,4 ^b	70,8 \pm 0,4 ^b	5,94 \pm 0,13 ^b
PI-DEDL	22,8 \pm 0,4 ^b	71,3 \pm 0,5 ^b	5,64 \pm 0,14 ^a
PI-WIDULB	23 \pm 0,5 ^b	71,1 \pm 0,5 ^b	6 \pm 0,14 ^{bc}
mk	24,1 \pm 0,3 ^y	70,1 \pm 0,3 ^y	5,69 \pm 0,1 ^y
w	22,6 \pm 0,3 ^x	71,4 \pm 0,3 ^x	5,94 \pm 0,1 ^x

Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$).

4.2.2 Körperregionen

Erste Körperregion – „Kopf“

In den Tabellen 4.5 bis 4.6 auf dieser Seite werden die Ergebnisse der Untersuchung mittels DXA im Kopfbereich dargestellt. Sie beinhalten die absoluten und prozentualen Werte für Fett- [g, %] und Magerweichtgewebe [g, %] sowie Knochenmineralgehalt [g, %]. Desweiteren liegen Ergebnisse für die Knochenmineraldichte [g/cm²] als auch für das Gewicht [g] vor. Bezüglich der Ergebnisse des prozentualen Knochenmineralgehaltes (BMC PC) zeigt sich zwischen PI-WIDULB und PI-DULB mit $p=0,0677$ kein signifikanter Unterschied.

Bezüglich des Fettgehaltes in der ersten Körperregion zeigt sich ein deutlicher Unterschied bzgl. des Genotypens und des Geschlechts. So verfügt PI-DULB absolut und prozentual (mit 1,6 kg bzw. 24,6 %) mit Abstand über den größten Fettgehalt, während sich die drei Hybriden PI-DUSH (23,2 %), PI-WIDULB (23 %) bzw. PI-DEDL (22,8 %)

absolut und relativ nicht signifikant voneinander unterscheiden. Die Kastraten verfügen über signifikant mehr absolutes und relatives Fettgewebe als die weiblichen Tiere.

Die Hybriden zeigen zwar bei den absoluten Werten keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Magerweichgewebes in der ersten Körperregion jedoch bei den prozentualen. So besitzt PI-DULB mit 69,7 % den niedrigsten Magerweichgewebeanteil und unterscheidet sich damit signifikant von den anderen Genotypen. PI-DUSH (70,8 %), PI-DEDL (71,3 %) und PI-WIDULB (71,1 %) dagegen unterscheiden sich nicht signifikant voneinander. Die männlich, kastrierten Tiere besitzen prozentual signifikant weniger Magerweichgewebeanteil (70,1 %) als die weiblichen Tiere (71,4 %).

Keine signifikanten Unterschiede konnten bezüglich des Genotyps und des Geschlechts bei der Berechnung der absoluten Werte für den Knochenmineralgehalt (BMC) in der ersten Körperregion festgestellt werden. Die Werte schwanken zwischen 357 g und 371 g. Die prozentuale Berechnung der BMC verdeutlicht jedoch, dass PI-WIDULB mit 6 % den höchsten Knochenmineralgehalt zeigt und sich damit signifikant von PI-DEDL unterscheidet, welche mit 5,64 % den niedrigsten BMC hat. Kein signifikanter Unterschied besteht zwischen PI-WIDULB, PI-DUSH (5,94 %) und PI-DULB (5,69 %). PI-DULB unterscheidet sich dagegen signifikant von PI-DUSH aber interessanterweise nicht von PI-DEDL.

Bei Betrachtung der Knochenmineraldichte (BMD) wird festgestellt, dass PI-DEDL mit $1,7 \text{ g/cm}^2$ den signifikant geringsten Wert aufweist und sich damit deutlich von den alternativen Hybriden unterscheidet. PI-WIDULB besitzt dagegen die höchste Knochenmineraldichte ($1,83 \text{ g/cm}^2$), eng gefolgt von PI-DULB ($1,82 \text{ g/cm}^2$) und PI-DUSH ($1,8 \text{ g/cm}^2$). Die drei letztgenannten als auch die Geschlechter (Kastraten: $1,8 \text{ g/cm}^2$; Sauen: $1,78 \text{ g/cm}^2$) unterscheiden sich nicht signifikant voneinander. Der Kopfteil enthält die höchste Knochenmineraldichte im Vergleich zum restlichen Körper.

Keine statistisch signifikanten Unterschiede können bzgl. des Gewichtes in der ersten Körperregion innerhalb der Hybriden dargestellt werden. PI-DULB ist mit 6.593 g in der ersten Körperregion am schwersten, gefolgt von PI-DEDL (6.425 g), PI-DUSH (6.283 g) und PI-WIDULB (6.228 g). Lediglich Kastraten verfügen mit 6.581 g über signifikant mehr Masse in der Kopfregion als Sauen (6.184 g).

Zweite Körperregion – „Vordergliedmaßen/Thorax“

Die Tabellen 4.7 bis 4.8 auf der nächsten Seite beinhalten die Ergebnisse für den absoluten und relativen Fettgewebe [g, %], Magerweichgewebe [g, %] und Knochenmineralgehalt [g, %], als auch die Knochenmineraldichte [g/cm^2] und das Gewicht [g] im Bereich

Tabelle 4.7: DXA-Ergebnisse der zweiten Körperregion (2. ROI), (LSM \pm SEE)

Genotyp/ Geschlecht	Fett [g]	Mager [g]	BMC [g]	BMD [g/cm ²]	Gewicht [g]
PI-DULB	8117 \pm 458 ^a	33289 \pm 789 ^{bc}	865 \pm 20 ^{bc}	0,96 \pm 0,01 ^b	42263 \pm 1126 ^{bc}
PI-DUSH	6123 \pm 476 ^b	33583 \pm 864 ^c	899 \pm 21 ^{ac}	0,95 \pm 0,01 ^b	40528 \pm 1217 ^{ac}
PI-DEDL	6662 \pm 493 ^b	35909 \pm 920 ^a	917 \pm 23 ^a	0,92 \pm 0,01 ^a	43511 \pm 1306 ^b
PI-WIDULB	6706 \pm 599 ^b	31170 \pm 937 ^b	831 \pm 25 ^b	0,94 \pm 0,02 ^{ab}	38783 \pm 1400 ^a
mk	7955 \pm 389 ^y	33929 \pm 682 ^y	885 \pm 16	0,94 \pm 0,01	42772 \pm 963 ^y
w	5849 \pm 388 ^x	33046 \pm 669 ^x	870 \pm 16	0,94 \pm 0,01	39771 \pm 948 ^x

Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$).

Tabelle 4.8: DXA-Ergebnisse der zweiten Körperregion in Prozent (2. ROI PC), (LSM \pm SEE)

Genotyp/ Geschlecht	Fett PC [%]	Mager PC [%]	BMC PC [%]
PI-DULB	18,5 \pm 0,7 ^b	79,4 \pm 0,7 ^a	2,11 \pm 0,03 ^a
PI-DUSH	14,8 \pm 0,8 ^a	82,9 \pm 0,7 ^b	2,22 \pm 0,03 ^b
PI-DEDL	14,9 \pm 0,8 ^{ac}	82,9 \pm 0,8 ^b	2,18 \pm 0,03 ^b
PI-WIDULB	17 \pm 1 ^{bc}	80,9 \pm 0,9 ^{ab}	2,19 \pm 0,03 ^{ab}
mk	18 \pm 0,6 ^y	79,8 \pm 0,6 ^y	2,13 \pm 0,02 ^y
w	14,6 \pm 0,6 ^x	83,2 \pm 0,6 ^x	2,22 \pm 0,02 ^x

Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$).

des Thorax und der Vordergliedmaßen. Bezüglich der Signifikanzen sind folgende Werte zu berücksichtigen: Bei der prozentualen Darstellung des Fettgehaltes unterscheidet sich PI-WIDULB mit $p = 0,0699$ nur geringfügig nicht signifikant von PI-DEDL. PI-WIDULB liegt für das Merkmal Magerweichgewebe mit $p = 0,0574$ ebenfalls an der Signifikanzgrenze im Vergleich mit PI-DULB. Im Magerweichgewebeanteil unterscheiden sich die Hybriden PI-DUSH und PI-WIDULB mit $p = 0,0610$ sowie die Kreuzungsgenotypen PI-DEDL und PI-WIDULB mit $p = 0,0747$ nur geringfügig nicht signifikant voneinander, obwohl eine Differenz von 2% biologisch relevant ist. PI-DULB unterscheidet sich bezüglich des Knochenmineralanteils (BMC PC) mit $p = 0,0646$ nicht von PI-WIDULB.

PI-DULB weist mit 8.117 g bzw. 18,5% das meiste Fettgewebe in der zweiten Körperregion im Vergleich der Kreuzungsgenotypen auf. PI-DULB wird gefolgt von PI-WIDULB mit 6.706 g bzw. 17%, wobei sich der Wildschweinhybrid nicht signifikant prozentual von PI-DULB und PI-DEDL unterscheidet. PI-DUSH weist mit 6.123 g bzw.

14,8 % den geringsten Fettanteil auf. PI-DEDL (6.662 g bzw. 14,9 %) und PI-DUSH (6.123 g bzw. 14,8 %) unterscheiden sich nicht signifikant voneinander. Zwischen männlichen (7.955 g bzw. 18 %) und weiblichen Tieren (5.849 g bzw. 14,6 %) zeigt sich sowohl bei den absoluten Zahlen, als auch bei den prozentualen Zahlen eine signifikante Differenz.

Mit 35.909 g besitzt PI-DEDL herausragend viel Magerweichgewebe in der zweiten Körperregion. Es unterscheidet sich jedoch prozentual mit 82,9 % nicht signifikant von PI-DUSH (82,9 %) und PI-WIDULB (80,9 %). Da jedoch PI-WIDULB am wenigsten Gewicht besitzt, weist es auch bei den absoluten Werten am wenigsten Magerweichgewebe (31.170 g) auf und zeigt somit bezogen auf die absoluten Werte zu PI-DEDL und PI-DUSH (33.583 g) signifikante Unterschiede. Absolut und relativ unterscheidet sich PI-WIDULB nicht von PI-DULB. PI-DUSH, welche die zweithöchsten absoluten Werte besitzt (33.583 g), unterscheidet sich prozentual allein signifikant von PI-DULB. Die Kastraten verfügen absolut zwar über signifikant mehr (männlich 33.929 g, weiblich 33.046 g), prozentual jedoch über signifikant weniger Magerweichgewebe (männlich 79,8 %, weiblich 83,2 %) als die weiblichen Probanden.

Besonders in diesem Teilbereich des Knochenmineralgehaltes besitzen die prozentualen Werte eine wesentlich höhere Aussagekraft als die absoluten Zahlen. Die Knochenstabilität ist nicht primär von der Länge der Knochen und somit vom absoluten Knochenmineralgehalt, sondern vom Verhältnis der Knochenmineralisierung zu dem zu tragenden Gewicht abhängig. Demnach hat PI-DUSH mit 2,22 % den höchsten Knochenmineralanteil, unterscheidet sich jedoch nicht signifikant von PI-WIDULB (2,19 %) und PI-DEDL (2,18 %). PI-DULB besitzt mit 2,11 % den geringsten Anteil und unterscheidet sich demnach signifikant von PI-DEDL und PI-DUSH. Kastraten verfügen mit 2,13 % über signifikant weniger Knochenmineralgehalt als Sauen (2,22 %).

Die geringste Knochenmineraldichte zeigt PI-DEDL ($0,92 \text{ g/cm}^2$), welche sich signifikant von PI-DULB ($0,96 \text{ g/cm}^2$) und PI-DUSH ($0,95 \text{ g/cm}^2$) aber nicht signifikant von PI-WIDULB ($0,94 \text{ g/cm}^2$) unterscheidet. Letztgenannte unterscheidet sich von keinem Kreuzungsgenotyp signifikant. Bezogen auf das Geschlecht konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden, da beide Geschlechter einen Wert von $0,94 \text{ g/cm}^2$ aufweisen.

PI-WIDULB verfügt mit 38.783 g über das geringste Gewicht im Bereich der zweiten Körperregion. Es unterscheidet sich damit signifikant von PI-DEDL (43.511 g) und PI-DULB (42.263 g), aber nicht von PI-DUSH (40.528 g). Das höchste Gewicht besitzt PI-DEDL, welcher sich signifikant von PI-DUSH und PI-WIDULB, nicht jedoch von PI-DULB differenziert. PI-DUSH und PI-DULB zeigen untereinander keine deutlichen

Tabelle 4.9: DXA-Ergebnisse der dritten Körperregion (3. ROI), (LSM \pm SEE)

Genotyp/ Geschlecht	Fett [g]	Mager [g]	BMC [g]	BMD [g/cm ²]	Gewicht [g]
PI-DULB	2547 \pm 176 ^b	10394 \pm 274	137 \pm 9	0,92 \pm 0,02	13097 \pm 421
PI-DUSH	1799 \pm 183 ^a	10698 \pm 295	153 \pm 9	0,9 \pm 0,02	12662 \pm 445
PI-DEDL	1844 \pm 189 ^a	10655 \pm 303	140 \pm 10	0,88 \pm 0,02	12616 \pm 456
PI-WIDULB	2069 \pm 228 ^{ab}	9885 \pm 358	131 \pm 11	0,91 \pm 0,02	12021 \pm 548
mk	2362 \pm 151 ^y	10524 \pm 220	141 \pm 7	0,9 \pm 0,01	13015 \pm 343 ^y
w	1768 \pm 150 ^x	10292 \pm 217	140 \pm 7	0,9 \pm 0,01	12183 \pm 341 ^x

Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$).

Tabelle 4.10: DXA-Ergebnisse der dritten Körperregion in Prozent (3. ROI PC), (LSM \pm SEE)

Genotyp/ Geschlecht	Fett PC [%]	Mager PC [%]	BMC PC [%]
PI-DULB	18,5 \pm 0,9 ^a	80,5 \pm 0,9 ^a	1,04 \pm 0,03 ^a
PI-DUSH	13,2 \pm 0,9 ^b	85,6 \pm 0,9 ^b	1,11 \pm 0,03 ^b
PI-DEDL	13,9 \pm 0,9 ^b	85 \pm 0,9 ^b	1,08 \pm 0,03 ^{ab}
PI-WIDULB	17,1 \pm 1,2 ^a	81,8 \pm 1,1 ^a	1,07 \pm 0,03 ^{ab}
mk	17,4 \pm 0,8 ^y	81,5 \pm 0,8 ^y	1,06 \pm 0,02 ^y
w	13,9 \pm 0,8 ^x	85 \pm 0,8 ^x	1,09 \pm 0,02 ^x

Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$).

Unterschiede. Kastraten haben mit 42.772 g deutlich mehr Masse in der zweiten Körperregion als Sauen (39.771 g).

Dritte Körperregion – „Bauch“

Die Tabellen 4.9 und 4.10 beinhalten analog zur ersten und zweiten Körperregion die absoluten und relativen Ergebnisse der dritten Körperregion. Bezüglich der Signifikanzgrenze müssen folgende Werte beachtet werden: Mit $p = 0,0624$ unterscheidet sich PI-DULB bezogen auf den absoluten Fettgehalt nicht von PI-WIDULB. PI-DULB und PI-DEDL überschreiten bezüglich des prozentualen Knochenmineralgehaltes die Signifikanzgrenze ebenfalls mit $p = 0,0657$ nur geringfügig.

Erneut verfügt PI-DULB mit 2.547 g, bzw. 18,5 % über den höchsten Fettgehalt und unterscheidet sich damit signifikant von PI-DUSH (1.799 g) und PI-DEDL (1.844 g), jedoch nicht signifikant von PI-WIDULB (2.069 g bzw. 17,1 %). Die beiden Hybriden mit

dem geringsten Fettgehalt sind PI-DUSH (13,2 %) dicht gefolgt von PI-DEDL (13,9 %). Die beiden unterscheiden sich nicht signifikant. Die Kastraten zeigen mit 2.362 g bzw. 17,4 % signifikant mehr Fettgehalt als die Sauen mit 1.768 g bzw. 13,9 %.

PI-DUSH und PI-DEDL weisen mit 85,6 % (entspricht absolut: 10.698 g) bzw. 85 % (entspricht absolut: 10.655 g) am meisten Magerweichgewebe in der Bauchregion auf. Die beiden Hybriden unterscheiden sich somit prozentual signifikant von PI-DULB und PI-WIDULB. Letztgenannte unterscheiden sich nicht signifikant und besitzen mit 80,5 % bzw. 81,8 % den geringsten Magerweichgewebeanteil. Es kann belegt werden, dass die männlich, kastrierten Tiere im Vergleich zu Sauen absolut (männlich 10.524 g, weiblich 10.292 g) mehr Masse als prozentual (männlich 81,5 %, weiblich 85 %) aufweisen.

PI-DUSH besitzt mit 1,11 % den höchsten prozentualen Knochenmineralgehalt in der dritten Körperregion und unterscheidet sich damit signifikant von PI-DULB, welche mit 1,04 % den geringsten Anteil aufweist. PI-DULB unterscheidet sich nicht signifikant von PI-WIDULB (1,07 %) und PI-DEDL (1,08 %). Die Sauen verfügen mit 1,09 % über einen höheren Knochenmineralanteil als Kastraten mit 1,06 %.

Im Vergleich der Kreuzungsgenotypen und Geschlechter können keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Knochenmineraldichte festgestellt werden. PI-DEDL besitzt mit 0,88 g/cm² die niedrigste BMD. Dagegen kann bei PI-DULB (0,92 g/cm²), PI-WIDULB (0,91 g/cm²) und PI-DUSH (0,9 g/cm²) als auch bei männlichen und weiblichen Tieren (je 0,9 g/cm²) eine annähernd identische Knochenmineraldichte dokumentiert werden.

Auch das Gewicht der dritten Körperregion zeigt keine statistisch nennenswerten Unterschiede zwischen den Hybriden. PI-DULB weist mit 13.097 g die höchste Masse auf, gefolgt von PI-DUSH (12.662 g), PI-DEDL (12.616 g) und zuletzt PI-WIDULB (12.021 g). PI-DULB zeigt einen Gewichtsunterschied von ca. 1 kg zu PI-WIDULB. Diese Differenz ist für den Mäster durchaus bedeutsam. Die Kastraten besitzen mit 13.015 g signifikant mehr Masse in der Bauchregion als die weiblichen Tiere (12.183 g).

Vierte Körperregion – „Hintergliedmaßen/Becken“ bzw. „Schinken“

Die Tabellen 4.11 auf der nächsten Seite und 4.12 auf der nächsten Seite zeigen äquivalent zu den drei vorhergehenden Körperregionen die Ergebnisse der Hintergliedmaße und des Beckens. PI-DULB unterscheidet sich mit $p = 0,0556$ bzw. $p = 0,0711$ nicht signifikant von PI-WIDULB bezüglich des absoluten bzw. prozentualen Fettgehaltes. Auch bezüglich des prozentualen Magerweichgewebes überschreitet PI-DULB nur geringfügig die Signifikanzgrenze ($p = 0,0689$) verglichen mit PI-WIDULB. Beim prozentualen

Tabelle 4.11: DXA-Ergebnisse der vierten Körperregion (4. ROI), (LSM \pm SEE)

Genotyp/ Geschlecht	Fett [g]	Mager [g]	BMC [g]	BMD [g/cm ²]	Gewicht [g]
PI-DULB	4596 \pm 265 ^a	20429 \pm 525 ^a	632 \pm 18	0,95 \pm 0,02 ^a	25677 \pm 718 ^a
PI-DUSH	3780 \pm 271 ^b	21389 \pm 560 ^b	654 \pm 18	0,95 \pm 0,02 ^a	25831 \pm 756 ^a
PI-DEDL	4164 \pm 282 ^b	22828 \pm 606 ^c	656 \pm 19	0,91 \pm 0,02 ^b	27719 \pm 813 ^b
PI-WIDULB	3903 \pm 339 ^{ab}	19560 \pm 653 ^a	602 \pm 23	0,94 \pm 0,02 ^{ab}	24146 \pm 908 ^a
mk	4533 \pm 234 ^y	21172 \pm 451	647 \pm 15 ^y	0,94 \pm 0,01	26396 \pm 623 ^y
w	3688 \pm 233 ^x	20932 \pm 444	625 \pm 15 ^x	0,93 \pm 0,01	25290 \pm 616 ^x

Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$).

Tabelle 4.12: DXA-Ergebnisse der vierten Körperregion in Prozent (4. ROI PC), (LSM \pm SEE)

Genotyp/ Geschlecht	Fett PC [%]	Mager PC [%]	BMC PC [%]
PI-DULB	17,3 \pm 0,7 ^a	80,3 \pm 0,7 ^a	2,47 \pm 0,03 ^{ab}
PI-DUSH	14,3 \pm 0,7 ^b	83,1 \pm 0,7 ^b	2,52 \pm 0,04 ^b
PI-DEDL	14,6 \pm 0,7 ^b	83 \pm 0,7 ^b	2,42 \pm 0,04 ^a
PI-WIDULB	15,6 \pm 0,9 ^{ab}	82 \pm 0,9 ^{ab}	2,52 \pm 0,04 ^{ab}
mk	16,7 \pm 0,6 ^y	80,9 \pm 0,6 ^y	2,48 \pm 0,03
w	14,2 \pm 0,6 ^x	83,3 \pm 0,6 ^x	2,49 \pm 0,03

Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$).

Knochenmineralgehalt unterscheidet sich PI-DEDL mit $p = 0,0732$ bzw. $p = 0,0562$ nicht signifikant von PI-DULB bzw. PI-WIDULB.

Auch in der vierten Körperregion zeigt PI-DULB mit Abstand die höchste absolute und prozentuale Fettmasse (4.596 g bzw. 17,3 %) und unterscheidet sich damit signifikant von PI-DUSH (3.780 g bzw. 14,3 %) und PI-DEDL (4.164 g bzw. 14,6 %), jedoch nicht von PI-WIDULB (3.903 g bzw. 15,6 %). PI-WIDULB unterscheidet sich in der vierten Körperregion absolut und prozentual nicht von den anderen Hybriden. Den niedrigsten Fettgehalt weist absolut und prozentual PI-DUSH auf, wobei sich dieser Genotyp nicht signifikant von PI-DEDL und PI-WIDULB unterscheidet. Kastraten verfügen mit 4.533 g bzw. 16,7 % über signifikant mehr Fettgewebe als weibliche Tiere (3.688 g bzw. 14,2 %).

Die höchste Magerweichgewebemasse der vierten Körperregion besitzt PI-DEDL mit 22.828 g (bzw. bezogen auf das Körpergewicht 83 %), gefolgt von PI-DUSH mit 21.389 g (bzw. 83,1 %). Diese beiden Hybriden unterscheiden sich prozentual nicht signifikant

von PI-WIDULB (82 %), wohl aber von PI-DULB, welche mit 80,3 % den geringsten Magerweichgewebeanteil aufweisen. Prozentual und absolut besteht kein signifikanter Unterschied zwischen PI-DULB und PI-WIDULB. Männliche kastrierte Tiere besitzen absolut nur unwesentlich mehr Magerweichgewebe als Sauen (21.172 g im Vergleich zu 20.932 g), wobei sie sich prozentual signifikant voneinander unterscheiden. Kastraten weisen beachtenswerterweise mit 80,9 % weniger Magerweichgewebe im Verhältnis zum Gewicht der vierten Körperregion auf als Sauen mit 83,3 %.

Bezüglich der absoluten Werte des Knochenmineralgehaltes der vierten Körperregion zeigen die Hybriden keinen signifikanten Unterschied. Männlich, kastrierte Probanden besitzen mit 647 g absolut signifikant mehr BMC als Sauen (625 g), unterscheiden sich jedoch prozentual nicht mehr signifikant voneinander. Dabei besitzen weibliche Tiere mit 2,49 % einen geringfügig höheren Knochenmineralgehalt bezogen auf das Gewicht der vierten Körperregion als die Kastraten mit 2,48 %. Prozentual besitzen PI-DUSH und PI-WIDULB mit jeweils 2,52 % den höchsten BMC. PI-DUSH unterscheidet sich signifikant von PI-DEDL (2,42 %), jedoch nicht von PI-DULB (2,47 %) und PI-WIDULB.

PI-DEDL weist mit $0,91 \text{ g/cm}^2$ die niedrigste Knochenmineraldichte in der vierten Körperregion auf und unterscheidet sich damit signifikant von PI-DULB ($0,95 \text{ g/cm}^2$) und PI-DUSH (ebenfalls $0,95 \text{ g/cm}^2$). PI-WIDULB unterscheidet sich mit $0,94 \text{ g/cm}^2$ von keinem Kreuzungsgenotypen signifikant. Auch die Geschlechter (männlich kastriert $0,94 \text{ g/cm}^2$, weiblich $0,93 \text{ g/cm}^2$) zeigen keine deutlichen Unterschiede.

Bezogen auf das Gewicht der vierten Körperregion zeigt PI-DEDL mit Abstand die höchste Gewebemasse mit 27.719 g und unterscheidet sich damit signifikant von den drei anderen Hybriden. PI-DEDL wird gefolgt von PI-DUSH (25.831 g), PI-DULB (25.677 g) und PI-WIDULB (24.146 g), wobei sich die drei letztgenannten nicht signifikant unterscheiden. Kastraten weisen mit 26.396 g signifikant mehr Gewicht als Sauen mit 25.290 g auf.

4.3 Sonstige Ergebnisse

4.3.1 Körpergewicht Waage

Die Tabelle 4.13 auf der nächsten Seite zeigt das Körpergewicht [kg] der unterschiedlichen Hybriden, welches mit der Waage manuell ermittelt wurde.

Bezüglich des Ganzkörpergewichtes, welches mit der Waage manuell ermittelt wurde, besteht zwar zwischen den Kreuzungsgenotypen statistisch kein signifikanter Un-

Tabelle 4.13: Ergebnisse Körpergewicht, mit der Waage ermittelt, (LSM \pm SEE)

Genotyp/ Geschlecht	Körpergewicht [kg]
PI-DULB	89 \pm 2
PI-DUSH	86 \pm 2
PI-DEDL	92 \pm 3
PI-WIDULB	83 \pm 3
mk	90 \pm 2 ^y
w	85 \pm 2 ^x

Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$).

terschied, jedoch können die Differenzen für den Mäster durchaus von Bedeutung sein. Das höchste Körpergewicht weist PI-DEDL mit 92 kg auf. PI-DULB folgt mit 89 kg und PI-DUSH mit 86 kg. PI-WIDULB verfügt mit 83 kg über das geringste Körpergewicht. Männliche kastrierte Tiere haben ein signifikant höheres Körpergewicht als Sauen (90 kg im Vergleich zu 85 kg). Da diese Daten durch die statistische Analyse auf ein einheitliches Alter von 168 Tagen korrigiert wurden, kann man daraus entnehmen, dass PI-WIDULB unter den gleichen Umweltbedingungen und bei gleicher Futteraufnahme (wie im Anhang in Tabelle 9.1 auf Seite 130 bewiesen) wesentlich langsamer wächst, als die restlichen Kreuzungsgenotypen. Auch bei PI-DUSH kann im Vergleich zum konventionellen Hybriden unter den gleichen Haltungsbedingungen mit 6 kg Differenz eine etwas längere Mastdauer festgestellt werden. Nur PI-DULB wächst annähernd mit etwa 3 kg Differenz so schnell wie PI-DEDL. Da das Wachstum jedoch, wie im Literaturteil erwähnt, von sehr vielen Faktoren beeinflusst werden kann, ist keine gesicherte Aussage möglich, ob die Hybriden in der Freilandhaltung/ökologischen Landwirtschaft ähnliche Wachstumsverläufe zeigen würden.

4.3.2 Alter

Die Ergebnisse für das durchschnittliche Alter der Probanden sind in Tabelle 4.14 auf der nächsten Seite dargestellt. Die statistisch signifikanten Unterschiede von ca. einem Tag sind für die Versuchsergebnisse irrelevant.

4.3.3 Fruchtbarkeit

Die Tabelle 4.15 auf der nächsten Seite spiegelt die Ergebnisse wider, wie viele Tiere durchschnittlich in welcher Mutterlinie lebend geboren und wie viele Ferkel tatsächlich

Tabelle 4.14: Durchschnittliches Alter der Probanden, (LSM \pm SEE)

Genotyp/ Geschlecht	Alter [Tage]
PI-DULB	169 ± 3^{ab}
PI-DUSH	168 ± 3^a
PI-DEDL	169 ± 3^b
PI-WIDULB	168 ± 3^{ab}
mk	168 ± 3
w	168 ± 3

Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$).

Tabelle 4.15: Durchschnittlich lebend geborene und aufgezogene Ferkel pro Sau und Wurf getrennt nach Kreuzungsgenotypen der Mutterlinien, (LSM \pm SEE)

Genotyp Mutterlinie	Lebend Geboren	Aufgezogen
DULB	$10,3 \pm 0,9$	$8,9 \pm 0,8$
DUSH	$9,5 \pm 1,2$	$8,8 \pm 1$
DEDL	$11,8 \pm 0,9$	$10,2 \pm 0,8$
WIDULB	$11,8 \pm 1,7$	$9,9 \pm 1,4$

aufgezogen wurden. Da es sich, wie im Kapitel 3.1.3 auf Seite 64 genauer beschrieben, nur um 24 verschiedene Muttertiere handelt, ist die Aussagekraft der Ergebnisse begrenzt. Demnach haben Schweine der Kreuzungsgenotypen PI-DEDL und PI-WIDULB mit 11,8 geborenen Ferkeln und 10,2 bzw. 9,9 aufgezogenen Tieren die höchste Fruchtbarkeit. Im Gegensatz dazu haben PI-DUSH mit nur 9,5 Ferkeln pro Wurf und nur 8,8 aufgezogenen Ferkeln die geringste Nachwuchsquote. PI-DULB liegt mit 10,3 geborenen Ferkeln pro Wurf und 8,9 aufgezogenen Ferkeln in der Mitte.

5 Diskussion

5.1 Vergleich der DXA-Gesamtkörperanalyse mit den vier Körperregionen

Die folgenden drei Diagramme 5.1 auf Seite 98, 5.2 auf Seite 100, 5.3 auf Seite 102 geben die Ergebnisse der Tabellen 4.4 auf Seite 83, 4.6 auf Seite 85, 4.8 auf Seite 87, 4.10 auf Seite 89 und 4.12 auf Seite 91 in graphisch anschaulicher Form wieder. Auf der x -Achse wurden die vier Teilkörperbereiche und die Ganzkörperuntersuchung aufgetragen, während auf der y -Achse die prozentualen Magerweich-, Fett- bzw. Knochenmineralgehalte abgebildet werden. Die Balkenfarben stehen für den jeweiligen Kreuzungsgenotypen. Ziel der Diagrammdarstellung ist ein übersichtlicher und schlüssiger Vergleich der einzelnen Teilkörperanalysen mit der Gesamtkörperanalyse. Es soll dadurch u.a. ermittelt werden, welche Teilkörperanalyse am engsten mit der Gesamtkörperanalyse übereinstimmt. Desweiteren zeigt sich die qualitative und quantitative Verteilung der einzelnen Parameter (Magerweich-, Fettgewebe sowie Knochenmineralgehalt) im Gesamtkörper. Auch die hybridspezifischen Unterschiede sind sehr gut nachzuvollziehen.

So zeigt der Thorax- und Vordergliedmaßenbereich (zweite Körperregion) die größte Beziehung zur Gesamtkörperanalyse. Es könnte also ausreichend sein, alleinig durch die Analyse der zweiten Körperregion Rückschlüsse auf die Gesamtkörperzusammensetzung zu ziehen. Jedoch sollten dazu noch weitere Studien erfolgen. Desweiteren ist auffällig, dass die Verteilung des Knochenmineral-, Magerweichgewebes- und Fettanteils innerhalb der Kreuzungsgenotypen caudal des Kopfes (zweite bis vierte Körperregion) großteils dem Verteilungsmuster der Gesamtkörperanalyse entspricht.

Da bei der Züchtung fleischreicher und fettarmer Rassen kein Wert auf die Kopfreion gelegt wurde, spiegelt diese erste Körperregion möglicherweise sogar das Verhältnis noch vor den züchterischen Veränderungen wider. Die Kopfreion hebt sich demnach deutlich von den restlichen Körperregionen ab. Sie weist einen wesentlich höheren Fett- und Knochenmineralgehalt sowie einen geringeren Weichgewebeanteil als die anderen Körperregionen auf.

Im Bauchbereich (dritte Körperregion) ist bei allen Hybriden (außer bei PI-WIDULB) der höchste Magerweichgewebeanteil und der niedrigste Knochenmineralanteil zu finden.

Die Verteilung des Knochenmineralgehaltes im Körper zeigt folgende Verhältnisse: Der höchste Knochenmineralgehalt ist erwartungsgemäß im Kopfbereich zu finden. Deutlich weniger Knochenmineral ist in der vierten Körperregion (Hintergliedmaße/Becken) vorhanden, dicht gefolgt von der zweiten Körperregion (Vordergliedmaßen/Thorax) und der Gesamtkörperanalyse. Der geringste Knochenmineralgehalt ist erwartungsgemäß in der Bauchregion zu finden.

Vergleich der Fettanteile [%]

PI-DULB

PI-DULB besitzt unter den Hybriden in allen vier Körperregionen und somit auch in der Gesamtkörperanalyse den höchsten Fettanteil. Der höchste Fettanteil befindet sich dabei in der ersten Körperregion (dem Kopfbereich), der niedrigste in der vierten Körperregion (Hintergliedmaße/Becken). Die Gesamtkörperanalyse, die dritte (Bauch) und zweite Körperregion (Vordergliedmaßen/Thorax) unterscheiden sich nicht deutlich im Fettgehalt bei PI-DULB.

PI-DUSH

Der Fettgehalt ist bei PI-DUSH im Vergleich zu den anderen Kreuzungsgenotypen in der Gesamtkörperanalyse sowie der zweiten bis vierten Körperregion (caudal des Kopfes) am geringsten ausgeprägt. Die erste Körperregion (Kopf) weist bei PI-DUSH zwar weniger Fettanteil auf als bei PI-DULB, aber PI-DUSH unterscheidet sich nicht deutlich von PI-DEDL und PI-WIDULB. Besonders in der dritten Körperregion (Bauch) besitzt PI-DUSH eine große Differenz zum Fettanteil der anderen Hybriden.

Der Fettanteil am Bauch fällt demnach bei PI-DUSH im Vergleich zu den anderen Hybriden und im Vergleich der einzelnen Körperabschnitte am niedrigsten aus. Zwischen der zweiten Körperregion (Vordergliedmaßen/Thorax) und der Gesamtkörperanalyse besteht kein wesentlicher Unterschied. Die vierte Körperregion, also das Becken und die Hintergliedmaßen, weist einen geringfügig niedrigeren Fettgehalt als die Schulterregion und die Vordergliedmaßen auf.

PI-DEDL

Im Vergleich der Kreuzungsgenotypen entspricht der Fettanteil im Bereich der ersten (Kopf), zweiten (Vordergliedmaßen/Thorax) und vierten (Hintergliedmaßen/Becken) Körperregion, als auch in der Gesamtkörperanalyse dem vom PI-DUSH. Mit Ausnahme

der Kopfregion findet sich in allen anderen Bereichen deutlich weniger Fettgewebe als bei PI-DULB und PI-WIDULB. Der Fettanteil ist bei PI-DEDL in der dritten (Bauch) und zweiten (Vordergliedmaßen/Thorax) Körperregion geringer ausgeprägt; die zweite Körperregion (Vordergliedmaßen/Thorax) entspricht dabei wieder der Gesamtkörperanalyse. PI-DEDL besitzt den größten Fettanteil im Kopfbereich, den geringsten im Bauch (dritte Körperregion).

PI-WIDULB

Caudal des Kopfbereiches (zweite bis vierte Körperregion) und der Ganzkörperanalyse zeigt PI-WIDULB zwar mehr Fettgehalt als PI-DUSH und PI-DEDL, jedoch deutlich weniger Fett als PI-DULB.

Im Kopfbereich weist PI-WIDULB, wie bei allen Kreuzungsgenotypen, den höchsten Fettgewebeanteil auf. Die Ergebnisse der Ganzkörperanalyse, der dritten (Bauch) und die der zweiten Körperregion (Vordergliedmaßen/Thorax) unterscheiden sich nur minimal. PI-WIDULB besitzt den niedrigsten Fettgehalt in der Hintergliedmaße/Beckenregion (vierte Körperregion).

Zusammenfassung DXA Fettgewebe [%]

- Der Kopfbereich (erste Körperregion) enthält prozentual den höchsten Fettgewebeanteil. Die zweite Körperregion (Vordergliedmaßen/Thorax) korreliert eng mit der Gesamtkörperanalyse.
- Beim Vergleich der Kreuzungsgenotypen hat PI-DULB in allen Bereichen den höchsten Fettgehalt. PI-DUSH zeigt im Vergleich zu den anderen Hybriden in der Bauchregion (dritte Körperregion) den geringsten Fettanteil. Der Fettanteil bei PI-DEDL und PI-DUSH ist in der Vorder- und Hinterhand, als auch in der Gesamtkörperanalyse vergleichbar gering ausgeprägt.

Vergleich der Magerweichgewebeanteile [%]

PI-DULB

PI-DULB zeigt im Vergleich zu den anderen Hybriden in allen Analysen den geringsten Anteil an Magerweichgewebe.

Den höchsten Gehalt besitzt dieser Genotyp im Bauchbereich (dritte Körperregion) und in den Hintergliedmaßen/Becken (vierte Körperregion); den geringsten im Kopfbereich. Die Werte der Gesamtanalyse entsprechen denen der zweiten Körperregion (Vordergliedmaßen/Thorax).

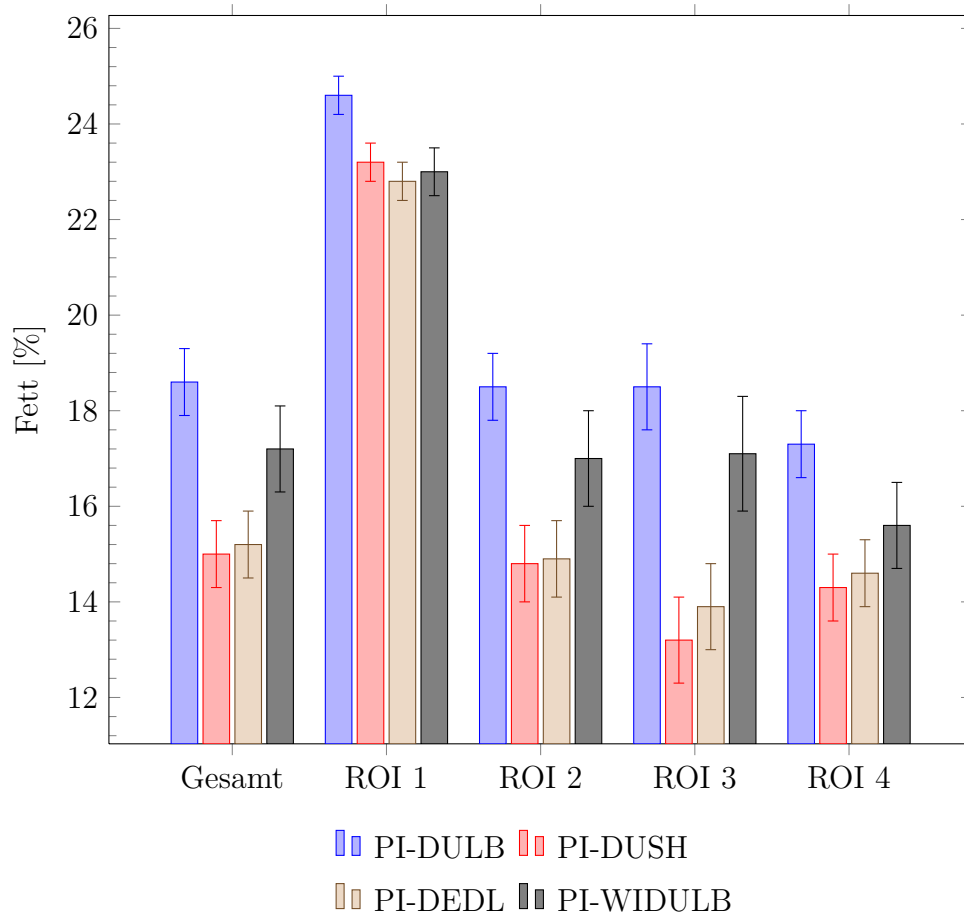


Abbildung 5.1: Vergleich des Fettanteils in den verschiedenen Körperregionen (Gesamtkörper sowie ROI 1-4) unter Berücksichtigung der Kreuzungsgenotypen

PI-DUSH

Verglichen mit den anderen Kreuzungsgenotypen zeigt PI-DUSH im Bauchbereich (dritte Körperregion) mit Abstand den höchsten Magerweichgewebegehalt. Sowohl bei PI-DUSH als auch bei PI-DEDL liegt der Magerweichgewebeanteil in der Gesamtkörperanalyse (welche wieder sehr eng mit der zweiten Körperregion korreliert) und caudal des Kopfbereiches (in der zweiten bis vierten Körperregion) deutlich höher als bei PI-DULB und PI-WIDULB.

Am wenigsten Magerweichgewebe ist im Kopfbereich, am meisten im Bauchbereich vorhanden. In der zweiten und vierten Körperregion ist annähernd gleich viel Magerweichgewebe vorhanden.

PI-DEDL

Wie bereits zuvor bei PI-DUSH erwähnt, übertrifft PI-DEDL in der zweiten, dritten und vierten Körperregion (caudal des Kopfes) als auch in der Gesamtkörperanalyse sehr deutlich den Magerweichgewebeanteil der Hybriden PI-WIDULB und PI-DULB.

Der höchste Magerweichgewebeanteil ist bei PI-DEDL im Bauchbereich (der dritten Körperregion) zu finden. Die Ergebnisse der Ganzkörperanalyse, der zweiten (Vordergliedmaßen/Thorax) und vierten Körperregion (Hintergliedmaßen/Becken) unterscheiden sich minimal voneinander. Der niedrigste Magerweichgewebeanteil ist im Kopfbereich zu finden.

PI-WIDULB

PI-WIDULB zeigt im Vergleich der gesamten DXA-Analysen (außer dem Kopfbereich) deutlich weniger Magerweichgewebe als PI-DUSH und PI-DEDL, aber mehr als PI-DULB.

Im Bauchbereich (also der dritten Körperregion) und der vierten Körperregion (Hintergliedmaßen/Becken) besitzt PI-WIDULB annähernd gleich viel Magerweichgewebe. Etwas weniger Magerweichgewebe ist in der zweiten Körperregion (Vordergliedmaßen/Thorax) und somit auch in der Ganzkörperanalyse vorhanden. Am wenigsten Magerweichgewebe ist, wie zu erwarten, im Kopfbereich vorhanden, wobei in diesem Bereich der Unterschied zu PI-DEDL und PI-DUSH verhältnismäßig gering ist.

Zusammenfassung DXA Magerweichgewebe [%]

- Der Kopfbereich enthält erwartungsgemäß bei allen Hybriden den niedrigsten Magerweichgewebeanteil. Identisch wie für den Fettgewebeanteil korreliert die zweite Körperregion (Vordergliedmaßen/Thorax) eng mit den Ergebnissen der Gesamtkörperanalyse.

- PI-DULB zeigt mit Abstand den geringsten Magerweichgewebeanteil im Körper. PI-DUSH ist im Bauchbereich dem Kreuzungsgenotypen PI-DEDL überlegen, unterscheidet sich jedoch in den anderen Körperregionen nicht stark von PI-DEDL. PI-DEDL und PI-DUSH stellen die Genotypen mit dem höchsten Magerweichgewebegehalt dar; gefolgt von PI-WIDULB.

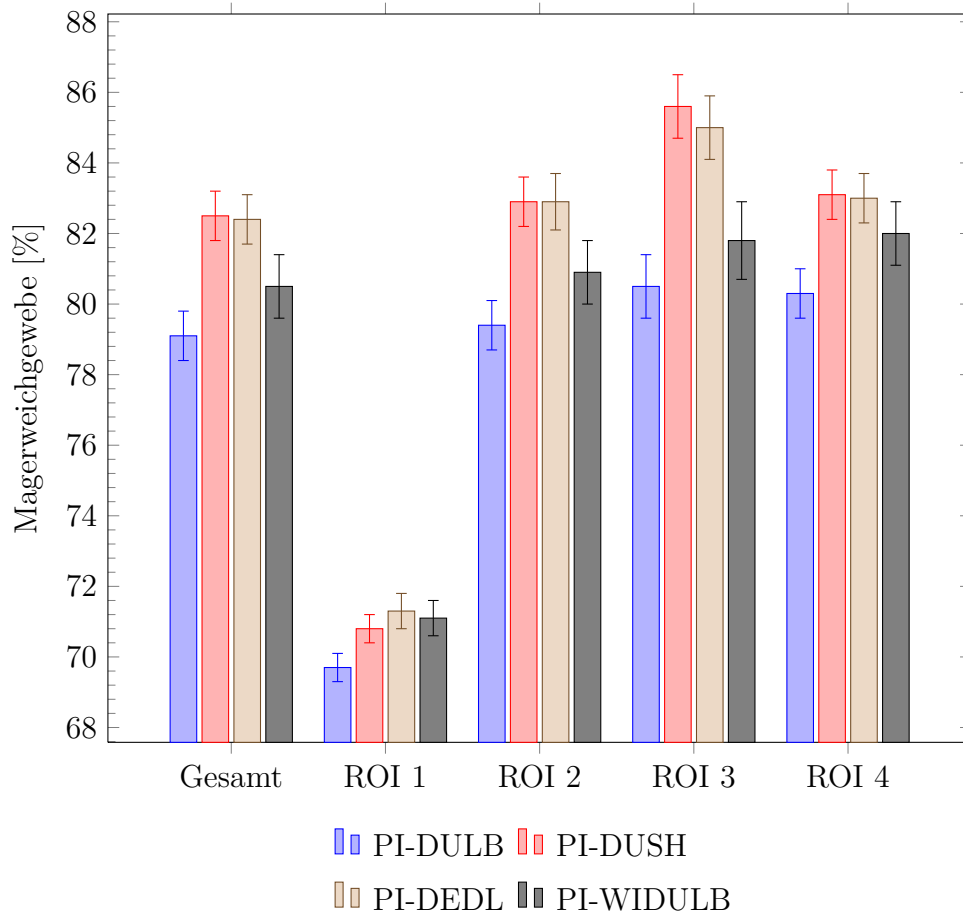


Abbildung 5.2: Vergleich des Magerweichgewebeanteils in den verschiedenen Körperregionen (Gesamtkörper sowie ROI 1-4) unter Berücksichtigung der Kreuzungsgenotypen

Vergleich der Knochenmineralanteile (BMC, %)

Die Standardabweichungen caudal des Kopfes (zweiten, dritten und vierten Körperregion) als auch der Gesamtkörperanalyse sind so marginal, dass die Unterschiede im Diagramm nicht ersichtlich sind. Die Verteilung des Knochenmineralgehaltes im Körper

ist bei allen Hybriden gleich: Der höchste Knochenmineralanteil ist im Kopfbereich vorhanden. Wesentlich geringere Anteile weisen die Hintergliedmaßen/Beckenregion gefolgt von der zweiten Körperregion (Vordergliedmaßen/Thorax) bzw. der Gesamtkörperanalyse auf. Mit Abstand der niedrigste BMC [%] ist erwartungsgemäß in der Bauchregion (dritte Körperregion) zu finden.

PI-DULB

Der Unterschied zwischen den Genotypen ist beim Knochenmineralgehalt nicht so deutlich ausgeprägt wie bei der Auswertung von Fett- und Magerweichgewebe. Allerdings ist im Kopfbereich bei PI-DULB durchaus auffällig, dass die Large Black Hybriden höhere Knochenmineralanteile als PI-DEDL aber niedrigere als PI-DUSH und PI-WIDULB besitzen.

PI-DUSH

In der Kopfreion zeigt PI-DUSH minimal höheren BMC [%] als PI-DULB und PI-DEDL und geringfügig niedrigeren als PI-WIDULB. In der Hintergliedmaße enthält PI-DUSH etwas mehr Knochenmineralgehalt [%] als PI-DULB und PI-DEDL, aber in etwa gleich viel wie PI-WIDULB. PI-DUSH, PI-DEDL und PI-WIDULB weisen annähernd gleich hohe Knochenmineralanteile in der zweiten und dritten Körperregion sowie in der Gesamtkörperanalyse auf. Die drei Kreuzungsgenotypen besitzen dabei geringfügig höhere BMC [%] als PI-DULB.

PI-DEDL

PI-DEDL zeigt in der ersten Körperregion (Kopf) deutlich weniger Knochenmineralgehalt [%] als PI-WIDULB und PI-DUSH. Allerdings sind, wie bereits erwähnt, die Unterschiede in den verbliebenen Untersuchungsbereichen gering.

PI-WIDULB

PI-WIDULB besitzt in der Kopfreion einen etwas höheren Knochenmineralgehalt [%] als die anderen Kreuzungsgenotypen, unterscheidet sich in den verbliebenen Untersuchungsbereichen nicht deutlich von den anderen Hybriden.

Zusammenfassung DXA Knochenmineralgehalt [%]

- Bezüglich des prozentualen Knochenmineralgehaltes können anhand dieser Darstellung nur deutliche Abweichungen in der ersten Körperregion, also im Kopfbereich, festgestellt werden. Hier zeigt PI-WIDULB den höchsten BMC [%], gefolgt von PI-DUSH, PI-DULB und schließlich PI-DEDL.
- PI-DULB und PI-DEDL weisen tendenziell in den Analysebereichen die niedrigs-

ten, PI-DUSH und PI-WIDULB die höchsten Knochenmineralanteile auf, wobei die Differenzen nicht sehr stark ausgeprägt sind.

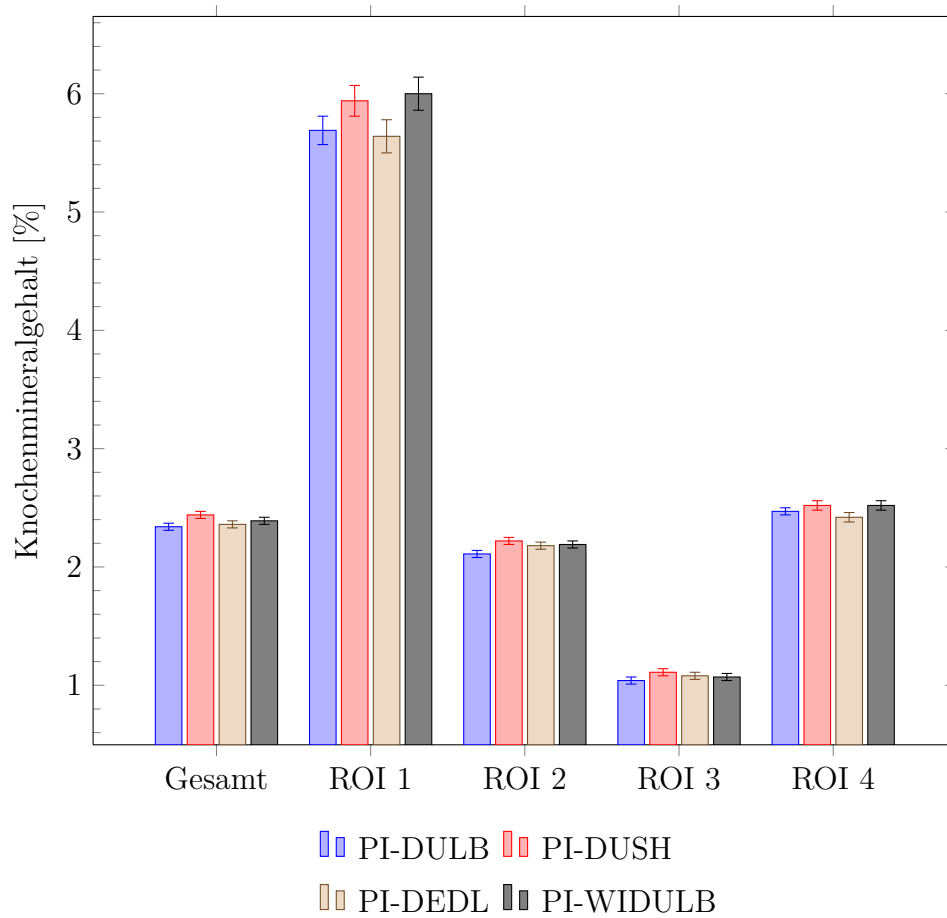


Abbildung 5.3: Vergleich des Knochenmineralanteils (BMC; %) in den verschiedenen Körperregionen (Gesamtkörper sowie ROI 1-4) unter Berücksichtigung der Kreuzungstypen

5.2 Vergleich der alternativen Kreuzungsgenotypen mit dem konventionellen Hybriden PI-DEDL

5.2.1 PI-DULB

MRT-Ergebnisse

Verglichen mit PI-DEDL ist die prozentuale Fettauflage bei PI-DULB im Schinken und Kotelett deutlich höher. Sowohl absolut als auch prozentual unterscheidet es sich signifikant von PI-DEDL durch ein niedrigeres Schinken- und Kotelettmuskelvolumen (bzw. prozentualer Anteil) als auch durch ein niedrigeres Gesamtvolumen bzw. Schinkenvolumen.

DXA Ergebnisse

Prinzipiell muss darauf hingewiesen werden, dass keine offiziellen Grenzwerte bezüglich der Knochenmineraldichte und des -gehaltes beim Schwein bestehen. Dies ist im Hinblick auf die Skelettstabilität bzw. beim Auftreten von Erkrankungen wie z.B. Osteoporose von Bedeutung. Der Knochenmineralgehalt pro Fläche sollte u.a. nur in Beziehung zum Exterieur und somit im Verhältnis zur Körpergröße beurteilt werden. Es wird beispielsweise bei Kindern beschrieben, dass bei großen, gleichaltrigen Kindern im Vergleich zu kleineren Kindern eine höhere Knochenmineraldichte gemessen wird. So bekommen Kinder, die unter einem verzögerten Wachstum leiden, automatisch falsch niedrige Knochendichtewerte [Peters und König 2010]. Bei fehlenden Vergleichswerten für Schweine kann daher keine verlässliche Bewertung bezüglich der Knochenstabilität erfolgen. Es kann in dieser Versuchsreihe also lediglich das Verhältnis des Knochenmineralgehaltes und der -dichte zwischen den vier Hybriden verglichen werden.

Während der Datenerhebung konnten keine pathologischen Abweichungen bzgl. der Knochenstabilität innerhalb der vier Hybridlinien festgestellt werden. Es kann also davon ausgegangen kann, dass die hier gemessenen Daten durchaus bei allen Genotypen dem Normbereich entsprechen müssten und demnach als Referenzwerte für Folgestudien dienen könnten. Osteoporose ist charakterisiert durch eine verringerte Knochenmineraldichte [Ringe 2003]. Diese Erkrankung wird sehr selten beim Schwein diagnostiziert [Jackson und Cockcroft 2007]. Typischerweise sind ältere Sauen betroffen, die bereits Folgeerkrankungen wie z.B. Femurfrakturen erlitten haben [Jackson und Cockcroft 2007]. Leider kann umgekehrt nicht davon ausgegangen werden, dass eine sehr hohe Knochenmineraldichte gleichbedeutend mit einer guten Knochenstabilität ist. Secombe

et al. [2002] fanden an Studien von Pferdeknochen heraus, dass eine erhöhte Knochenmineraldichte die Flexibilität des Knochens reduziert, wodurch sogar eine erhöhte Gefahr für Knochenbrüche besteht. Zudem wird die Knochenmineraldichte unter anderem von der Bewegungsintensität beeinflusst. Aufgrund von vermehrter Bewegung erhöht sich die Knochenmineraldichte, was in einer Vielzahl an Studien sowohl beim Menschen [Vonlanthen und Baumgartner 2006] als auch bei unterschiedlichen Tierarten, wie beispielsweise Schweinen [Böttinger 2006] und Pferden [Bell et al. 2001; Secombe et al. 2002] bestätigt wird.

Im Ganzkörperscan zeigt PI-DULB sowohl absolut als auch prozentual einen signifikant höheren Fettgehalt und geringeren Magerweichgewebeanteil als PI-DEDL. Es ist kein signifikanter Unterschied zu PI-DEDL bezüglich des absoluten Knochenmineralgehaltes und dem Körpergewicht vorhanden. PI-DULB weist zwar eine signifikant höhere Knochenmineraldichte als PI-DEDL auf, besitzt aber prozentual signifikant weniger Knochenmineral.

Im Kopfbereich weist PI-DULB prozentual und absolut signifikant mehr Fettgewebe als PI-DEDL auf. Bei den relativen Zahlen bezüglich Magerweichgewebe, Knochenmineralgehalt (hier auch prozentual) und dem Gewicht der ersten Körperregion unterscheidet sich PI-DULB nicht deutlich von PI-DEDL. Bezüglich der Knochenmineraldichte können signifikant höhere Werte bei PI-DULB verzeichnet werden. Prozentual betrachtet zeigt PI-DULB jedoch signifikant weniger Magerweichgewebe.

Dieser Trend setzt sich interessanterweise auch in der zweiten Körperregion (Vordergliedmaßen/Thorax) fort. Außer dem Gewicht und der Knochenmineraldichte der zweiten Körperregion unterscheidet sich PI-DULB signifikant von PI-DEDL. PI-DULB zeigt absolut und prozentual deutlich mehr Fett, weniger Magerweichgewebe und Knochenmineral. Die Knochenmineraldichte ist jedoch in der zweiten Körperregion signifikant höher als bei PI-DEDL.

In der dritten Körperregion (Bauch) ist bei PI-DULB ein signifikant höherer Fettgewebeanteil (absolut und prozentual) und geringerer Magerweichgewebeanteil (prozentual) festzustellen. PI-DULB unterscheidet sich jedoch nicht signifikant von PI-DEDL bezogen auf die absoluten und prozentualen Werte des Knochenmineralgehaltes, der Knochenmineraldichte und dem Gewicht der Bauchregion.

In der vierten Körperregion (Hintergliedmaßen/Becken) weist PI-DULB signifikant mehr Fettgewebe (absolut und prozentual), eine höhere Knochenmineraldichte, weniger Magerweichgewebe (prozentual und absolut) sowie weniger Gewicht auf. Keine signifi-

kanten Unterschiede sind bezüglich des prozentualen und absoluten Knochenmineralgehaltes zu finden.

Desweiteren ist PI-DULB ein ähnlich guter Futtermittelverwerter wie PI-DEDL. Bei gleicher zur Verfügung stehenden Futtermenge und Mastzeit, haben die Tiere ein ähnlich hohes Endgewicht erreicht. Die Fruchtbarkeit ist akzeptabel: 8,9 aufgezogene Ferkel je Sau und Wurf und 10,3 lebendgeborene bei PI-DULB versus 11,8 lebendgeborene und 10,2 aufgezogene Ferkel bei PI-DEDL. Die Aussagekraft ist aber durch die vorliegende relativ kleine Versuchskohorte eingeschränkt.

Zusammenfassung PI-DULB im Vergleich zu PI-DEDL

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass PI-DULB in allen Teilbereichen die gleiche Tendenz zeigt: es besitzt deutlich mehr Fett- bei weniger Magerweichgewebe. Bezüglich der Knochenparameter weist PI-DULB keine eindeutigen Vorzüge zu PI-DEDL auf. So hat PI-DULB zwar in der Mehrzahl der untersuchten Körperbereiche eine höhere Knochenmineraldichte, der Knochenmineralgehalt unterscheidet sich jedoch nicht signifikant von PI-DEDL. Dieser Hybrid ist jedoch durch seine Pigmentierung und Anspruchslosigkeit viel besser für die Freilandhaltung als PI-DEDL geeignet. Dadurch könnte dieser Kreuzungsgenotyp eine gute Alternative für z.B. Regionalvermarkter darstellen, wenn sie ein gutes Marketingkonzept für sehr schmackhaftes, saftiges Fleisch erstellen.

5.2.2 PI-DUSH

MRT-Ergebnisse

PI-DUSH zeigt absolut und prozentual bezüglich der Schinkenauswertungen (außer dem Schinkenvolumen) keine signifikanten Unterschiede zu PI-DEDL. Im Kotelett weist PI-DUSH zwar absolut weniger Muskel- bzw. Fettgewebe und Volumen auf, aber prozentual weichen die Werte zwischen PI-DEDL und PI-DUSH nicht signifikant voneinander ab.

DXA Ergebnisse

Bezüglich des absoluten Magerweichgewebes der Ganzkörperanalyse zeigt PI-DUSH signifikant geringere Wert. Der absolute Knochenmineralgehalt zeigt keinen signifikanten Unterschied zu PI-DEDL. Jedoch hebt sich PI-DUSH durch einen signifikant höheren Knochenmineralgehalt (prozentuale Werte) und einer signifikant höheren Knochenmineraldichte bei gleichem Fettgehalt (prozentual und absolut), Magerweichgewebe (prozentual) und Körpergewicht hervor.

Im Kopfbereich ist der Anteil an Fett- und Magerweichgewebe (absolut und prozentual) sowie Knochenmineralgehalt (absolut) als auch Gewicht verglichen mit PI-DEDL annähernd identisch hoch. Prozentual besitzt PI-DUSH einen signifikant höheren Knochenmineralgehalt und eine deutlich höhere Knochenmineraldichte.

Betrachtet man die Region der Vordergliedmaßen und den Thorax, so stellt man bei PI-DUSH gleich viel Fett- (absolut und prozentual), Knochenmineralgehalt (absolut und prozentual) und Magerweichgewebe (prozentual) wie bei PI-DEDL fest. Zusätzlich zeigt PI-DUSH zwar eine signifikant höhere Knochenmineraldichte, aber auch signifikant weniger Gewicht und absolutes Magerweichgewebe.

Im Bauchbereich weicht kein Analyseergebnis signifikant zwischen PI-DUSH und PI-DEDL ab.

PI-DUSH weist, verglichen mit PI-DEDL, in der vierten Körperregion (also im Bereich des Beckens und der Hintergliedmaßen) keine signifikanten Unterschiede bezüglich des prozentualen und absoluten Fettgewebes, des prozentualen Magerweichgewebeanteils und des absoluten Knochenmineralgehaltes auf. Interessanterweise verfügt PI-DUSH über eine signifikant höhere Knochenmineraldichte und prozentualen Knochenmineralgehalt.

Zusammenfassung PI-DUSH im Vergleich zu PI-DEDL

Zusammenfassend liegen bei den wertvollen Teilstücken Kotelett und Schinken als auch in der Ganzkörperanalyse bezüglich des prozentualen Fett- und Magerweichgewebes keine bedeutsamen Unterschiede zwischen PI-DUSH und PI-DEDL vor. PI-DUSH besitzt eine höhere Knochenmineraldichte und einen höheren Knochenmineralanteil (%). Möglicherweise wäre eine längere Nutzungsdauer durch ein verhältnismäßig stabiles Knochenfundament denkbar. Allerdings sollten für eine höhere Aussagekraft weitere Studien bezüglich der Knochenstabilität bei PI-DUSH im Verhältnis zu den anderen Hybriden erfolgen. PI-DUSH weist nicht nur eine ähnliche Körperzusammensetzung wie PI-DEDL auf, sondern ist auch robuster und zeigt sich ähnlich frohwüchsig wie PI-DEDL. Somit ist PI-DUSH eine sehr empfehlenswerte Alternative zu dem konventionellen Hybriden. Allerdings muss auch erwähnt werden, dass die Fruchtbarkeit – unter Einschränkung der hier vorliegenden geringen Datenlage – doch deutlich geringer ist, als bei PI-DEDL.

5.2.3 PI-WIDULB

MRT-Ergebnisse

Im Bereich des Schinkens zeigt PI-WIDULB keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Fettgehaltes zu PI-DEDL. Zwar weist die Wildschweinkreuzung absolut weniger Muskelgewebe und Schinkenvolumen auf, doch besteht in den prozentualen Ergebnissen des Muskelanteils im Schinken kein signifikanter Unterschied zu PI-DEDL. Anders verhält es sich bei der Muskelmasse im Kotelett: Hier weist PI-WIDULB absolut und prozentual signifikant weniger Muskelgewebe auf als PI-DEDL. Absolut zeigt der Hybrid ähnlich viel Fettmasse, aber prozentual gesehen, liegt ein signifikant höherer Fettanteil im Kotelett bei signifikant kleinerem Kotelettvolumen verglichen mit PI-DEDL vor.

DXA Ergebnisse

Bei der Gesamtkörperanalyse zeigt PI-WIDULB keinen signifikanten Unterschied zu PI-DEDL bezüglich des Fettgehaltes (absolut und prozentual), dem Magerweichgewebegehalt (prozentual), dem Knochenmineralgehalt (absolut) und dem Körpergewicht. Zwar weist PI-WIDULB absolut deutlich weniger Magerweichgewebe auf, doch hat PI-WIDULB einen signifikant höheren Knochenmineralgehalt (prozentual) und eine deutlich höhere Knochenmineraldichte.

Im Kopfbereich kann bei PI-WIDULB ähnlich viel Fettgehalt (prozentual und absolut), Magerweichgewebe (prozentual und absolut), Knochenmineralgehalt (absolut) sowie Gewicht wie bei PI-DEDL gefunden werden. PI-WIDULB hebt sich im Vergleich mit PI-DEDL durch einen signifikant höheren Knochenmineralgehalt (prozentual) und eine deutlich höhere Knochenmineraldichte hervor.

Im Thoraxbereich und den Vordergliedmaßen (also in der zweiten Körperregion) unterscheidet sich PI-WIDULB nicht signifikant von PI-DEDL bezüglich des Fettgehaltes (absolut und prozentual), des Magerweichgewebes (prozentual), des Knochenmineralgehaltes (prozentual) und der Knochenmineraldichte. Absolut zeigt der Wildschweinhybrid deutlich weniger Magerweichgewebe, Gewicht und Knochenmineralgehalt in der zweiten Körperregion.

Im Bauchbereich differieren die beiden Hybriden nicht bezogen auf den Fettgehalt (absolut), Magerweichgewebe (absolut), Knochenmineralgehalt (absolut und prozentual), Knochenmineraldichte und dem Gewicht. Prozentual jedoch ist bei PI-WIDULB signifikant mehr Fettgewebe und weniger Magerweichgewebe als bei PI-DEDL festzustellen.

Dieser alternativer Hybrid unterscheidet sich im Bereich des Beckens und der Hintergliedmaßen nicht signifikant von PI-DEDL hinsichtlich des Fettgehaltes (prozentual und absolut), des Magerweichgewebes (prozentual), des Knochenmineralgehaltes (absolut und prozentual) und der Knochenmineraldichte. PI-WIDULB zeigt jedoch ein signifikant niedrigeres Gewicht in der vierten Körperregion und weniger absolutes Magerweichgewebe.

Zusammenfassung PI-WIDULB im Vergleich zu PI-DEDL

PI-WIDULB weist in der Ganzkörperanalyse tendenziell ähnlich viel Magerweichgewebe und Fettgehalt wie PI-DEDL auf. Das Kotelettvolumen ist kleiner bei geringerer Magerweichgewebemasse und tendenziell höherer Fettauflage. Im geringer ausgeprägtem Schinken jedoch weist es eine ähnliche Zusammensetzung wie PI-DEDL auf. Der Wildschweinhybrid fällt besonders durch seine höheren Knochenmineralparameter auf. Obwohl PI-WIDULB bei gleichem Alter das leichteste Schwein ist, zeichnet es sich durch eine deutlich höhere Knochenmineraldichte und einen höheren Knochenmineralgehalt aus. Zudem ist die Fruchtbarkeit ebenso gut wie bei PI-DEDL. Nachteilig ist aber das langsamere Wachstum im Vergleich mit den anderen Hybriden. Dieses Merkmal ist vermutlich auf den Wildschweinanteil zurückzuführen, da Wildschweine generell für eine lange Wuchszeit bekannt sind [Jackson und Cockcroft 2007]. Insgesamt ist der robuste Wildschweinhybrid besonders in der Freilandhaltung bzw. ökologischen Haltung durch seine großteils pigmentierte Haut, hohe Fruchtbarkeit und tendenziell ähnlicher Körperzusammensetzung als Alternative zum unpigmentierten, konventionellen Kreuzungsgenotypen sehr zu empfehlen, solange eine etwas längere Mastdauer in Kauf genommen wird.

5.3 Diskussion von Material und Methode

In der Diskussion wird darauf verzichtet näher auf die Verwendung von MRT und DXA zur Bestimmung der Körperzusammensetzung einzugehen, weil diese Methodik nur für den Vergleich der Kreuzungsgenotypen untereinander herangezogen wurde. Da die Ergebnisse der MRT-Bilder im Gegensatz zu den Resultaten der DXA-Technik hier nur manuell erstellt werden können, stellt diese Analysemethodik eine potentielle Fehlerquelle dar. Jedoch wurden alle MRT-Bilder allein von einer einzigen Person ausgewertet, wodurch sich individuelle Fehlerquellen vermindern lassen sollten, wie z.B. bei der Interpretation der unterschiedlichen Graustufen der Bilder. Zudem wurden zu 96 % re-

produzierbare Ergebnisse bei der wiederholten Analyse von 30 MRT-Bildern durch unterschiedliche Auswertungspersonen erreicht (siehe 2.6.2 auf Seite 54), so dass dieser Einfluss von untergeordneter Bedeutung sein sollte [Friedrichs 2010]. Bezüglich der manuellen DXA-Teilkörperanalyse erfolgte eine genaue Definition der vier Körperregionen durch Knochenpunkte, sodass es auch hier zu keiner Verzerrung durch subjektive Wahrnehmung kommen sollte. Es wurde bereits im Literaturteil beschrieben, dass sowohl die MRT- [Baulain 1997; Baulain und Henne 1999; Baulain und Henning 2001; Baulain et al. 2004; Baulain et al. 2010; Fowler et al. 1992; Friedrichs 2010; Fuller et al. 1994; Mitchell et al. 2001a] als auch die DXA-Technik [Grier et al. 1996; Lauten et al. 2001; Mawby et al. 2004; Mitchell et al. 1996; Mitchell et al. 2002; Mitchell et al. 2003; Pandey et al. 2011; Plank 2005; Raffan et al. 2006; Schneider et al. 2004; A.M. Scholz und Förster 2006; Speakman et al. 2001; Suster et al. 2003] zur Bestimmung der Körperzusammensetzung im Allgemeinen eine brauchbare Methodik darstellt. Auch die fehlerhafte Bestimmung des DXA-Fettgehaltes bei einem geringeren Körpergewicht stellt in dieser Studie kein Problem dar, da alle Schweine etwa im gleichen Alter analysiert wurden und ein relativ hohes Endgewicht hatten.

Die Körperzusammensetzung unterliegt vielen Einflussfaktoren, z.B. der Fütterung. Um den Fütterungseffekt zu vermeiden, bekamen alle Tiere im gleichen Altersabschnitt das gleiche Futter, jedoch wurde ein Teil der Tiere restriktiv gefüttert und ein anderer Teil ad libitum. Es konnte jedoch für das ausgewertete Teilmaterial (mehr als 50% der analysierten Tiere, siehe 9.1 auf Seite 130) kein signifikanter Unterschied in der Futteraufnahme je Tier und Tag ermittelt werden. Dies bedeutet auch, dass eine Fütterung, die genau auf den speziellen Genotypen abgestimmt wäre, teilweise zu anderen Analysedaten geführt haben könnte. Deshalb muss bei der Beurteilung immer berücksichtigt werden, dass die Körperzusammensetzung vielen – nicht immer beeinflussbaren – Faktoren (siehe 2.2 auf Seite 23) unterworfen ist. Trotz der hohen Anzahl an Probanden könnten sich durch sehr unterschiedliche Haltungsbedingungen (z.B. Stallhaltung versus Freilandhaltung, rationierte versus ad libitum Fütterung) für den einen oder anderen Kreuzungstypen Vor- bzw. auch Nachteile bezüglich der Körperzusammensetzung ergeben. Zudem muss auch bedacht werden, dass eine frühere Analyse bzw. Schlachtung zu einer Verringerung des Körperfettanteils [Bracher-Jakob 2000; Fischer et al. 2006; Gu et al. 1992; Littmann et al. 2006; Wittmann 2003] und zu einem höheren Magerweichgewebeanteil führt [Bernau 2011]. Dadurch würde beispielsweise die Körperzusammensetzung gerade von PI-DULB mehr den Marktanforderungen entsprechen. Die vorliegende Arbeit vergleicht zum ersten Mal die beschriebene Genotypenkonstellationen, weshalb es keine

direkt vergleichbaren Studien gibt. Da bei allen nachfolgend aufgeführten Arbeiten unterschiedliche Auswertungsmethoden, Genotypen und Haltungsbedingungen verwendet wurden, ist deren Aussagekraft nicht allein im Vergleich zum eigenen Material begrenzt.

5.4 Diskussion ausgewählter Ergebnisse

5.4.1 Vorhersage der Gesamtkörperzusammensetzung durch Analyse von einzelnen Körperregionen

Wie die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, ist es wahrscheinlich möglich, ausschließlich anhand der zweiten Körperregion (also dem Schulterbereich) Rückschlüsse auf den gesamten Körper zu ziehen. Diese Aussage wird durch Mitchell et al. [2002] ansatzweise bestätigt. In der Studie wurde ebenfalls untersucht, ob die Körperzusammensetzung von Schweinen mittels DXA-Teilanalysen vorhersagbar ist (siehe 2.5.2 auf Seite 40). Dabei ist v.a. eine sehr hohe Beziehung ($21,68\% \pm 7,79$ im Schulterbereich (S4) zu $21,89\% \pm 7,09$ im DXA-Gesamtfettanteil) bezüglich des Gesamtkörperfettanteils zwischen dem Querschnitt in der Schulterregion mit der Gesamtkörpermessung aufgefallen. Baulain et al. [2010] unterstützt ebenfalls eines der Ergebnisse dieser Arbeit (siehe 2.6.2 auf Seite 54), dass besonders der Schulterbereich eine hohe Beziehung zur Ganzkörperanalyse aufweist.

Zusammenfassung

Mitchell et al. [2001a; 2003] sowie Baulain et al. [2010] bestätigen die grundsätzliche Aussage dieser Arbeit, dass es möglich ist, anhand eines Körperteilbereiches Vorhersagen über die Gesamtkörperzusammensetzung zu treffen. Dabei können sowohl die gemessenen Werte als auch Schätzgleichungen verwendet werden, um die Ganzkörperzusammensetzung so exakt wie möglich zu bestimmen. Weitere Studien sollten aus dieser Arbeit folgen, um die zweite Körperregion im Detail mit der Gesamtkörperanalyse in Beziehung zu setzen.

5.4.2 Zusammensetzung der einzelnen Körperabschnitte

Bei der Analyse von definierten DXA Körperbereichen (Schulter, Bauch, Becken), welche aus regional definierten Querschnitten (Scanbereichen) mit einer Breite von 57,6 mm bestanden, wurde der höchste Fettgehalt in der Schulterregion (S1; $24,72\% \pm 8,30$) und der geringste Anteil in der Bauchregion (L3; $16,39\% \pm 6,97$) festgestellt [Mitchell et al.

2002]. Die vorliegende Arbeit stellt dagegen eindeutig fest, dass der höchste Fettgehalt nicht in der Schulterregion zu finden ist, sondern im Kopfbereich. Wie erwähnt, wurde bei Mitchell et al. [2002] der Kopfbereich nicht ausgewertet. Werden die hier ausgewerteten Daten für den Kopfbereich vernachlässigt, so entsprechen die Ergebnisse insbesondere bei den Genotypen PI-DUSH und PI-DEDL denen von Mitchell et al. [2002]. Ebenfalls kann für die Genotypen PI-DUSH und PI-DEDL bestätigt werden, dass der geringste Fettanteil in der Bauchregion zu finden ist. Leider wurde bei Mitchell et al. [2002] nicht genau erwähnt, um welche drei Kreuzungsgenotypen es sich bei den 212 untersuchten Schweinen handelte.

Die höchste Knochenmineraldichte konnte in dieser Arbeit mit $1,7 - 1,83 \text{ g/cm}^2$ in der ersten Körperregion (dem Kopfbereich) festgestellt werden. Dies stimmt mit den Schlussfolgerungen von Mitchell et al. [2001b] überein, wonach sich die höchste Knochenmineraldichte im Kopf, gefolgt von den Vordergliedmaßen, der Wirbelsäule, den Hintergliedmaßen, dem Becken und den Rippen befand. Es ist leider kein Vergleich der Körperregionen „Vordergliedmaßen, Wirbelsäule, Hintergliedmaßen und Rippen“ von Mitchell et al. [2001b] mit dieser Studie möglich, da die Einteilungen sich nicht entsprechen und somit die Ergebnisse nicht direkt vergleichbar sind.

Zusammenfassung

Es konnte bestätigt werden, dass der höchste Knochenmineralgehalt im Kopfbereich und der zweithöchste Fettgehalt in der Schulterregion zu finden ist.

5.4.3 Ergebnisse von Kastraten versus Sauen

Kastraten weisen in dieser Arbeit deutlich weniger Muskelmasse und mehr Fett im Kotelett- und im Schinkenbereich als Sauen auf. Die Ergebnisse der Ganzkörperanalyse belegen ebenfalls einen höheren Fettanteil und einen geringeren Magergewebeanteil im Vergleich zu Sauen. Wie bereits im Kapitel 2.2 auf Seite 23 beschrieben, decken sich die Ergebnisse dieser Arbeit mit denen anderer Studien. Sauen zeigen einen geringeren Fettgehalt als Kastraten [Biedermann et al. 2000]. Ferner stellt Werner [2009] fest, dass Kastraten einen niedrigeren Fleischanteil bei höherer Speckdicke besitzen. Zudem stimmt Gruber [2011] zu, dass Kastraten eine ausgeprägtere Fettfläche am Kotelett als Sauen aufweisen. Auch unter ökologischen Bedingungen zeigen Kastraten der Genotypen PI-DEDL, PI-DUDL, PI-AS, DU-DL und Duroc im Vergleich zu Sauen relativ niedrige Muskelfleischanteile von 48,2 bis 50,6 %. Der Muskelfleischanteil der Sauen (Kreuzungs-

genotypen PI-DEDL, PI-DUDL und PI-AS) variiert zwischen 52,8 und 54,8 % [Weißmann 2009].

Die vorliegende Studie konnte im Vergleich der Geschlechter bei weiblichen Probanden einen prozentual signifikant höheren Knochenmineralgehalt feststellen, während sich die Geschlechter bezüglich der Knochenmineraldichte nicht signifikant unterschieden. Böttinger [2006] kann ebenfalls sowohl bzgl. der Knochenmineraldichte des Metakarpalknochens als auch der DXA-Ganzkörpermessung mit $0,661 \text{ g/cm}^2 \pm 0,009$ (Kastraten) zu $0,627 \text{ g/cm}^2 \pm 0,014$ (weiblich) keine signifikanten Unterschiede zwischen Sauen und Kastraten feststellen. Im Gegensatz zu dieser Arbeit konnte aber auch keine signifikante Differenz zwischen den Geschlechtern bezüglich des absoluten Knochenmineralgehalt dargestellt werden [Böttinger 2006]. Eventuell könnte dies unter anderem durch die vergleichsweise geringe Probandenzahl von 88 Tieren bedingt sein. Zudem könnten unterschiedliche Haltungsbedingungen die Vergleichbarkeit einschränken. Schweine, welche in Außenklimaställen gehalten werden, besitzen im Vergleich zu Tieren, welche eine geringere Bewegungsmöglichkeit haben (wie z.B. im Mehrzweckstall) tendenziell eine höhere Knochenmineraldichte [Böttinger 2006]. Dieser Einflussfaktor wurde in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, muss aber bei abschließender Beurteilung mit in Betracht gezogen werden.

Zusammenfassung

Übereinstimmend mit den bisherigen Studien kann eindeutig festgehalten werden, dass Kastraten über weniger Muskelgewebe und mehr Fettgewebe als Sauen verfügen.

5.4.4 Vergleich der Leistung unterschiedlicher Genotypen

Bernau [2011] (siehe 2.5.2 auf Seite 40) analysierte u.a. mittels DXA die Körperzusammensetzung der Rassen DE, DL, DU, LB, PI und SH sowie deren Hybriden. Sie betonte, dass die Rasse Large Black den geringsten Magerweichgewebeanteil und den höchsten Gesamtkörperfettgehalt aufweist. In der MRT-Untersuchung lag bei den extensiv genutzten Genotypen (wie beispielsweise Large Black und Schwäbisch Hällisch) ebenfalls ein signifikant höheres MRT-Fettvolumen bei gleichzeitig signifikant geringerem MRT-Muskelvolumen vor [Bernau 2011]. Die vorliegende Arbeit, bei der die alternativen Hybriden PI-DULB und PI-WIDULB einen Large Black-Anteil von 25 % sowie jeweils einen 50 %-igen Pietrainanteil enthalten, bestätigt, dass die beiden Genotypen in der DXA-Ganzkörperanalyse den höchsten Fettanteil besitzen, als auch den niedrigsten Magerweichgewebeanteil. Zu einem vergleichsweise ähnlichen Resultat bezüglich des verhält-

nismäßig hohen Fettgehaltes und geringeren Muskelgewebes von Large Black-Hybriden kam auch Whitley et al. [2012a]. Hierbei wurde der Muskelgehalt der Lendenregion der rechten Körperseite und die Rückenspeckdicke von vier verschiedenen Genotypen verglichen: Yorkshire und deren Hybriden mit der Vatterrasse Berkshire (BE-YO), Tamworth (TA-YO) als auch Large Black (LB-YO). LB-YO zeigte dabei die signifikant höchste Rückenfettdicke und das geringste Kotelettmuskelvolumen [Whitley et al. 2012a]. Zudem wurde im Rahmen dieser Studie das Körpergewicht der vier Genotypen, ausgehend von der Geburt bis zur Schlachtung, verglichen. Die Vatterrasse beeinflusste dabei das individuelle Geburts- und Absatzgewicht signifikant. BE-YO besaß das geringste individuelle Geburtsgewicht, YO-YO und TA-YO das höchste. Der Large Black-Genotyp nahm bezüglich des individuellen Geburtsgewichtes eine Mittelposition ein. Diese Ergebnisse könnten jedoch durch die nicht berücksichtigte Wurfgröße als auch durch die unterschiedliche Abferkel-Jahreszeit beeinflusst worden sein. So könnten die Tiere, welche in einer wärmeren Jahreszeit geboren wurden, höhere Geburtsgewichte aufweisen als die Ferkel, welche in einer kalten Jahreszeit auf die Welt kamen. Eine weitere Einflussgröße stellt die verhältnismäßig geringe Untersuchungsanzahl der Tamworthgenotypen dar. Interessanterweise besaß der Large Black-Hybrid das signifikant höchste Absatzgewicht und vom 90. bis 240. Lebenstag das signifikant höchste Körpergewicht im Vergleich aller untersuchten Genotypen. Die tägliche Zunahme unterschied sich jedoch nicht signifikant von den anderen Hybriden [Whitley et al. 2012b]. Auch die vorliegende Arbeit bestätigt, dass Hybriden mit Large Black ein verhältnismäßig hohes Körpergewicht besitzen.

Beim Vergleich der Hybriden PI-DEDL, PI-DE, SH und AS im Jahr 2009 zeigten die Schwäbisch Hällischen Tiere den geringeren Muskelansatz. SH und AS (Angler Sattelschwein) zeigten sowohl in der konventionellen als auch ökologischen Haltung den niedrigsten Fleischanteil; die Hybriden bzw. Herkünfte BHZP und PI-DE den höchsten. Zudem wiesen AS und SH die kleinste Fleischfläche des Koteletts und die höchsten Speckmaße auf [Werner 2009]. Wittmann [2003] verglich die Genotypen PI-BL (Belgische Landrasse) x DU-DL (30 Tiere), PI-SH (36 Probanden) sowie Duroc (30 Schweine). Der Muskelfleischanteil war bei PI-BL x DU-DL mit 54,6 % deutlich höher als bei PI-SH (52,4 %). Die Rasse DU lag zwischen den beiden Genotypen [Wittmann 2003]. Gruber [2011] bestätigte gleichfalls, dass Schwäbisch Hällische Schweine die geringsten Muskel- und die höchsten Fettvolumina aufweisen. Wittmann [2003] empfiehlt für die ökologische Schweinehaltung die Verwendung von reinrassigen Mutterlinien wie Schwäbisch Hällisches Landschwein, Duroc oder Kreuzungsgenotypen mit Deutscher Landrasse gepaart mit Pietrain Ebern, um den Muskelfleischanteil bei gleichbleibender Fleischbe-

schaffenheit zu steigern [Wittmann 2003]. Diese Studien unterstützen die Notwendigkeit Schwäbisch Hällische Tiere als Kreuzung einzusetzen. Die Kombination verschiedener Genotypen mit der Schwäbisch Hällischen Rasse wie PI-DUSH zeigt in dieser Arbeit deutlich, dass der Hybrid eine durchaus dem konventionellen Hybriden PI-DEDL ebenbürtige Körperzusammensetzung besitzen kann.

Zusammenfassung

Es kann mit bisherigen, begrenzten Studien übereinstimmend festgestellt werden, dass der Einfluss des Genotypen Large Black zu einer Verschlechterung der Körperzusammensetzung hinsichtlich eines verringerten Muskelanteils und erhöhten Fettanteils im Körper führt. Zudem untermauert die Literatur die Notwendigkeit der Kreuzung von Schwäbisch Hällischen Tieren mit stark bemuskelten, mageren Schweinen.

5.4.5 Literaturvergleich bezüglich der Knochenmineraldichte unterschiedlicher Genotypen

Die Knochenmineraldichte wurde in dieser Arbeit auf ein einheitliches Alter korrigiert. Bei Korrektur auf ein einheitliches Gewicht wären durchaus andere Resultate (v.a. zu Gunsten von PI-WILDULB) denkbar. So stellte Bernau [2011] in ihrer Arbeit fest, dass die Knochenmineraldichte besonders bei der Rasse Pietrain mit einem Körpergewicht zwischen 80 und 90 kg sprunghaft ansteigt. Da die untersuchten Hybriden in der vorliegenden Arbeit nicht auf ein einheitliches Gewicht korrigiert wurden, könnte dies bei der Auswertung eine entscheidende Rolle spielen. Die DXA-Analyse ermittelte ein Körpergewicht von über 90 kg bei PI-DEDL, während PI-WIDULB annähernd 9 kg und PI-DUSH ca. 5 kg weniger wogen. Demnach wäre die Schlussfolgerung naheliegend, dass innerhalb der alternativen Hybriden PI-WIDULB sowie PI-DUSH eine wesentlich höhere Knochenmineraldichte aufweisen würden als PI-DULB. Bernau [2011] stellte überdies in ihrer Arbeit fest, dass weniger bemuskelte Tiere über eine höhere Knochenmineraldichte verfügen. Diese Beobachtung kann in der vorliegenden Studie nur teilweise bestätigt werden, denn PI-DULB besaß den niedrigsten Magerweichgewebeanteil (%) bei identischer Knochenmineraldichte wie PI-WIDULB und PI-DUSH. Ein höherer Grad der Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Bernau [2011] ergibt sich bei Betrachtung der absoluten Werte: Die alternativen Hybriden unterscheiden sich bezüglich des Magerweichgewebes und der Knochenmineraldichte nicht signifikant untereinander, dafür aber von PI-DEDL. PI-DUSH, PI-DULB und PI-WIDULB besitzen im Vergleich mit PI-DEDL eine signifikant geringere Magerweichgewebemasse bei signifikant höherer Knochenmi-

neraldichte. Lösel et al. [2010] verglichen unter anderem die Knochenmineraldichte von 77 Tieren folgender Genotypen: Cerdo Iberico (IB), DU-IB, DE-DL, Hampshire (HA), PI-PIHA, PI-HA, PI-DU sowie PI-DEDL. Der konventionelle Genotyp PI-DEDL erzielte die geringste Knochenmineraldichte von allen Probanden [Lösel et al. 2010]. In der vorliegenden Arbeit besaß PI-DEDL auch im Vergleich zu den alternativen Hybriden die geringste Knochenmineraldichte für den DXA-Ganzkörper.

Zusammenfassung

Die vorliegende, begrenzte Literatur bestätigt, dass der konventionelle Hybrid PI-DEDL eine geringere Knochenmineraldichte als alternative Hybriden aufweist.

5.4.6 Leistungsvergleich unter ökologischer vs. konventioneller Haltung

Eine Studie unter ökologischen Bedingungen mit den Genotypen PI-DEDL, PI-DUDL, PI-AS, DU-DL und Duroc führte zu akzeptablen Gewichtszunahmen bei allen Genotypen und Geschlechtern aber zu einer inakzeptablen Futterverwertung (5:1) [Weißmann 2009]. Dagegen beschrieben Arp und Naumann [2001], dass Schweine aufgrund der restriktiven Futterration in der ökologischen Schweinehaltung langsamer wachsen würden. Werner [2009] bestätigt, wie im folgenden erläutert, diese Aussage. Werner [2009] untersuchte folgende Schweinehybriden sowohl unter konventionellen (402 Tiere) als auch unter ökologischen Haltungsbedingungen (280 Schweine): BHZP (Bundeshybridzuchtprogramm; entspricht laut persönlicher Korrespondenz mit Baulain [2013] dem Kreuzungsgenotyp PI-DEDL der vorliegenden Arbeit), SH, Angler Sattelschwein (AS), PI-SH, PI-AS, PI-DE sowie DU-DL [Werner 2009]. Alle Schweinehybriden erzielten unter konventionellen Bedingungen eine bessere Mastleistung als in der ökologischen Produktion. Allerdings zeigten die alten Rassen SH, AS und PI-AS bezüglich der täglichen Zunahme im Vergleich der beiden Haltungsumwelten die geringsten Differenzen; dagegen wiesen die Hybriden BHZP und PI-DE die größten Unterschiede (von über 150 g pro Tag) auf [Werner 2009]. Das bedeutet, dass ökologisch gehaltene Tiere (besonders BHZP, DU-DL, PI-DE sowie PI-SH), bezogen auf die tägliche Zunahme, deutlich unter der Leistung der konventionell gehaltenen Tieren liegen [Brandt et al. 2007]. Zudem wurde erkannt, dass die Genotypen BHZP, PI-AS, PI-DE sowie DU-DL unter ökologischer Haltung weniger Fleischanteil und erhöhte Speckmaße aufwiesen. Dagegen zeigten sich bei PI-SH ein erhöhter Fleischanteil und geringere Speckmaße unter ökologischer Haltung. Die Rasse SH wies keinen bedeutsamen Unterschied bezüglich des Fleischanteils

und Speckmaßes in beiden Haltungsformen auf. PI-SH besaß zudem als einziger Hybrid eine signifikant geringere Kotelett-Fettfläche und keine signifikanten Differenzen hinsichtlich der Kotelett-Fleischfläche in der ökologischen Schweineproduktion im Vergleich zur konventionellen Haltung. Demgegenüber war bei den Genotypen bzw. Herkünften BHZP, PI-AS, PI-DE sowie DU-DL eine signifikant geringere Kotelett-Fleischfläche unter ökologischer im Vergleich zur konventionellen Haltung festgestellt worden.

Da diese Studien mit unterschiedlichen Genotypen unter verschiedenen Untersuchungsmethoden und Haltungsbedingungen durchgeführt wurden, ist leider kein direkter Vergleich der gemessenen Werte möglich. Die Ergebnisse dieser Studie könnten aber ein Hinweis darauf sein, dass die vier Kreuzungsgenotypen PI-DULB, PI-DUSH, PI-WIDULB und PI-DEDL unter ökologischen Bedingungen verminderte tägliche Zunahmen, einen geringeren Fleischanteil sowie einen höheren Fettgehalt aufweisen könnten. Aufgrund der Ergebnisse von Brandt et al. [2007] bzw. Werner [2009] könnte angenommen werden, dass der Genotyp PI-DUSH durch den SH-Anteil in ökologischer Haltung noch weniger Speck als unter konventionellen Bedingungen bilden und zudem höhere Fleischanteile erzielen könnte. Somit könnte PI-DUSH unter ökologischer Haltung verglichen mit den vier Hybriden eine magerere und fleischreichere Körperzusammensetzung besitzen. Der Wildschweintyp wurde in keiner Studie untersucht, sodass eine Vorhersage nicht möglich ist.

Zusammenfassung

Generell tendieren die Schweine unter ökologischen Produktionsbedingungen zu einem erhöhten Fettgehalt und damit auch zu einem erhöhten intramuskulären Fettgehalt [Werner 2009], bei gleichzeitig geringerem Muskelfleischanteil [Wittmann 2003]. Mit Ausnahme der Genotypen PI-SH und SH erzielen die Schweine (der Genotypen bzw. Herkünfte BHZP (Bundeshybridzuchtprogramm), SH, AS, PI-SH, PI-AS, PI-DE sowie DU-DL in der konventionellen Umwelt höhere Leistungen im Fleischanteil und der Ausschachtung [Brandt et al. 2007]. Dies könnte für die hier untersuchten Hybriden bedeuten, dass mit Ausnahme der SH Genotypen, der Fettgehalt unter ökologischen Bedingungen zunehmen könnte. Die Körperzusammensetzung von PI-DUSH dagegen könnte sich im Vergleich zu PI-DEDL verbessern, bzw. diese sogar übertreffen.

Allerdings sollte bei den Studien von Brandt et al. [2007] bzw. von Werner [2009] beachtet werden, dass nur 9 weibliche SH Schweine untersucht wurden. Desweiteren kann die Abstammung nicht bei allen SH-Genotypen nachvollzogen werden. Darüber hinaus waren gesundheitliche Probleme wie Dysenterie in beiden Umwelten aufgetreten. Außerdem erhielt ein Teil der Schweine eine zeitweise zinkarme Fütterung und litt somit

unter Zinkmangel mit verringerter Futteraufnahme und Hautveränderung. Zudem konnte für die Rasse Schwäbisch Hall keine gleichmäßige Geschlechterverteilung sichergestellt werden; weibliche Probanden überwogen.

5.4.7 Vergleich des intramuskulären Fettgehaltes

Wittmann [2003] verglich u.a. den intramuskulären Fettanteil der Genotypen PI-BL x DU-DL, Duroc sowie PI-SH. Es stellte sich heraus, dass bei Duroc mit 4,32 % der intramuskulärer Fettgehalt deutlich höher war als bei PI-SH (2,03 %) und PI-BL x DU-DL (1,58 %) [Wittmann 2003]. Da der intramuskuläre Fettanteil bei Schwäbisch Hällischen Tieren Wittmann [2003] zufolge schon verhältnismäßig hoch ist, kann daraus geschlossen werden, dass der Genotyp PI-DUSH ebenfalls einen verhältnismäßig hohen intramuskulären Fettgehalt aufweist und demnach ein außerordentlich saftiges, wohlschmeckendes Fleisch besitzt.

Darüber hinaus beweist eine Studie von Brandt et al. [2009] (siehe 2.1.6 auf Seite 18), dass sich ein 25 %iger Duroc-Genanteil durch den erhöhten intramuskulären Fettanteil bereits sehr positiv auf die Sensorik und Schmackhaftigkeit des Fleisches auswirkt, ohne dabei die Schlachtkörperqualität negativ zu beeinträchtigen. Demnach kann angenommen werden, dass die Hybriden PI-DUSH und PI-DULB im Gegensatz zu PI-DEDL eine besonders gute Fleischqualität aufweisen. Dieser Vorteil der alternativen Hybriden könnte v.a. für Regionalvermarkter bei geschicktem Marketing zu einem großen Wettbewerbsvorteil führen. Zudem würde durch den Einsatz der drei genannten Alternativen auch die Forderung von Wittmann [2003] berücksichtigt werden, dass der intramuskuläre Fettgehalt durch die Rassenwahl (DU, SH) erhöht werden sollte und nicht durch eine längere Mastdauer, da dies zur Verfettung der Masttiere führt.

Zusammenfassung

Aus der vorliegenden Literatur kann gefolgert werden, dass die alternativen Hybriden über ein schmackhafteres Fleisch als der konventionelle Genotyp verfügen. Diese Eigenschaft ist v.a. für die regionale Vermarktung sehr interessant.

5.5 Bedarf einer Alternative zum konventionellen Hybriden PI-DEDL

Bedarf eines Rassestandards für ökologische Schweineproduktion

Zusammenfassend wurde in der Studie von Brandt et al. [2007] und Werner [2009] erörtert, dass die moderne Genetik sowohl unter konventionellen als auch unter ökologischen Haltungs- und Fütterungsbedingungen bei aktuellen Marktbedingungen die besten Resultate erzielen würde. Den Autoren zufolge kann daraus geschlussfolgert werden, dass die ökologische Schweinefleischherzeugung bei vergleichbaren Vermarktungszielen keine speziellen Zuchtprogramme benötigen würde. Jedoch belegt die vorliegende Arbeit unter anderem, dass eine besser ausgewählte Genetik wie PI-DUSH und PI-WIDULB nicht nur eine vergleichbar gute Körperzusammensetzung aufweist, sondern es kann auch davon ausgegangen werden, dass sie tendenziell robuster ist. Beispielsweise haben die alternativen Hybriden eine geringere Anfälligkeit für Sonnenbrand, wodurch ihnen die schmerzhaften Folgen, welche mit einer vorübergehenden verringerten Futteraufnahme verbunden sind, erspart bleiben. Der überwiegende Anteil der Hybriden des LVG war vollkommen pigmentiert. Außerdem sind die Mutterrassen durch ihre Anpassungsfähigkeit, Gutmütigkeit und Robustheit charakterisiert. Auch die Hybriden sollten somit zumindest teilweise über diese Eigenschaften verfügen. Zudem soll sich ökologisch produziertes Schweinefleisch durch einen besonderen Geschmack – und damit z.B. höherem intramuskulärem Fettgehalt – auszeichnen [Wittmann 2003]. Konventionelle Schweinehybriden und Rassen können nach eingehender Literaturrecherche diesbezüglich nicht mit den alternativen Rassen bzw. Kreuzungsprodukten konkurrieren. Allerdings sollten weitere Studien zu dieser Thematik, welche sich mit dem Vergleich von PI-DEDL mit den drei alternativen Hybriden (PI-DUSH, PI-DULB und PI-WIDULB) beschäftigen, folgen. Weiterhin wünschen die Verbraucher mageres Fleisch, bei jedoch bestem Geschmack, produziert nach den Ökorichtlinien unter der Verwendung von alten Rassen [Wittmann 2003]. Diese Forderung lässt sich wie bereits diskutiert weder mit der Rasse Large Black oder Schwäbisch Hällischem Schwein noch dem Angler Sattelschwein verwirklichen. Dem Ziel näher kommen würde beispielsweise der Hybrid PI-DUSH. Allerdings sind weitere Studien notwendig, um die Auswirkung der ökologischen Haltung auf die Körperzusammensetzung zu überprüfen. Desweiteren sollte für die ökologische Landwirtschaft eine einheitliche Vater- bzw. Mutterrasse verwendet werden, sodass die Masttiere nicht unterschiedlich schnell wachsen und einen einheitlichen Schlachtkörper aufweisen [Wittmann 2003]. Auch der Schweinemarktzyklus – wie im Literaturteil 2.4 auf

Seite 33 beschrieben – könnte durch eine vermehrt einheitliche Produktion stabilisiert werden.

Alternative in der konventionellen Haltung

Möglicherweise wird in naher Zukunft auch für die konventionelle Schweinehaltung eine Alternative zu dem bisherigen konventionellen Genotyp PI-DEDL benötigt werden. Unter anderem wird, wie bereits im Literaturteil erwähnt, gemäß dem Tierzuchtlabel eine Haltung mit Auslauffläche benötigt. Dafür sollten die Tiere robust, witterungsbeständig und anpassungsfähig und für Freilandhaltung pigmentiert sein. Gerade die in dieser Arbeit verwendeten alternativen Genotypen sind, wie bereits ausführlich erwähnt, durch diese Eigenschaften großteils charakterisiert.

Die Rahmenbedingungen für das Tierschutzlabel sehen bei Masthühnern eine geringere Tageszunahme von 45 g/Tag vor [Deutscher Tierschutzbund e.V. 2013]. Die am häufigsten verwendeten Hühnerrassen bzw. Masthybridlinien haben jedoch aufgrund ihres genetischen Potentials eine höhere Tageszunahme (circa 50 g/Tag) [Kirchgeßner 2004b; Verband der Landwirtschaftsberater in Bayern e. V. 2007]. Es besteht somit die Notwendigkeit Rassen bzw. Kreuzungslinien einzusetzen, welche eine andere Leistungsentfaltung bzw. -entwicklung aufweisen. Aus Sicht des Tierschutzes ist die Forderung nach langsam wachsenden Tieren nicht nur bei Masthähnchen sondern auch bei Schweinen begründet und ein notwendiger Schritt hin zu einer verbesserten Lebensqualität für Nutztiere [Laenoi et al. 2010a; Laenoi et al. 2010b; Laenoi et al. 2011; Rangkasenee et al. 2012; Wiegand 2009]. Die Zucht gerichtet auf erhöhte tägliche Zunahmen, ein beschleunigtes Wachstum sowie auf einen hohen Magerfleischanteil und frühe Geschlechtsreife steht nach wie vor einer langsamen Skelettentwicklung gegenüber [Erhard 2007; Lahrmann und Plonait 2004]. Bei den Abgangsursachen für Lahmheit stand in den USA und Kanada bei 40 - 50 % die Osteochondrose als Ursache im Vordergrund [Lahrmann und Plonait 2004]. Osteochondrose ist beispielsweise eine bei Mastschweinen sehr bekannte Erkrankung [Jackson und Cockcroft 2007; Laenoi et al. 2010a; Laenoi et al. 2010b; Lahrmann und Plonait 2004], die unter anderem mit einem zu schnellen Wachstum und einer genetischen Komponente in Verbindung gebracht wird [Grevenhof et al. 2011; Laenoi et al. 2010a; Laenoi et al. 2010b; Laenoi et al. 2011; Laenoi et al. 2012; Rangkasenee et al. 2012]. Dabei handelt es sich um eine Störung der chondralen Ossifikation [Steinborn und Hahn 2010] durch Überbelastungen der Knorpelschicht. Dies kann zu Epiphysenablösungen, Verformungen, Mikrofrakturen und Gelenksveränderungen führen und auf diese Weise das sog. „Beinschwächungssyndrom“ hervorrufen [Lahrmann und Plonait 2004].

Demnach sollte auch bei Mastschweinen ein langsames Wachstum gefördert werden und dementsprechend in den Vorgaben des Tierschutzlabels aufgenommen werden. Für die Mast von langsam wachsenden Tieren wäre der Hybrid PI-WIDULB sehr empfehlenswert!

6 Schlussfolgerung

Ziel dieser Arbeit war es, die Körperzusammensetzung der drei alternativen Hybriden PI-DULB, PI-DUSH und PI-WIDULB mit der des konventionellen Hybriden PI-DEDL zu vergleichen. Die Mutterrassen Duroc, Large Black und Schwäbisch-Hällisches Schwein sowie das Wildschwein zeichnen sich unter anderem durch ihre Robustheit und Langlebigkeit aus. Zudem besitzen sie eine pigmentierte Haut und eignen sich nicht nur sehr gut für die konventionelle, sondern auch für die ökologische Tierhaltung und Freilandhaltung. Deshalb ist unter anderem die Körperzusammensetzung entscheidend, ob sie ebenso wirtschaftlich wie PI-DEDL gehalten werden können und diese sowohl in der konventionellen als auch ökologischen Tierhaltung ersetzen könnten.

Zusammenfassend ergeben sich für die einzelnen Hybriden folgende Resultate:

PI-DULB

Obwohl PI-DULB in allen Teilbereichen dieser Studie deutlich mehr Fett bei weniger Magerweichgewebe besitzt, ist dieser Hybrid dennoch sowohl für die ökologische Landwirtschaft, als auch für die konventionelle Schweineproduktion unter bestimmten Voraussetzungen durchaus empfehlenswert.

Gerade Regionalvermarkter mit Freilandhaltung können dem Kunden vor Ort ein Schwein präsentieren, das sich schon äußerlich stark von dem konventionellen Hybriden unterscheidet. Besonders augenfällig ist dabei die imposante Gestalt sowie die ausgefallene Pigmentierung der Hybriden. Die Variationen reichen von einheitlich schwarz oder rot bis hin zu unterschiedlich gepunkteter Farbgebung. Der direkte Kontakt zwischen Produzent und Konsument gibt dem Verbraucher die Möglichkeit sich beim Kauf selbst von einer artgerechten Tierhaltung und mehr Tierwohl zu überzeugen. Dadurch entsteht eine höhere Bereitschaft mehr Geld für Schweinefleisch auszugeben. Durch die Wahl pigmentierter und sehr robuster Schweine wird dem Tierschutz Rechnung getragen, da sie beispielsweise gegenüber Sonnenbrand relativ unempfindlich sind. Darüber hinaus ist das Fleisch, wie aus der Literatur ersichtlich wird, aufgrund des höheren Gehaltes des Geschmacksträgers Fett von höchster Qualität. Somit ist nicht nur für den Kunden vor Ort

ein besonderes Geschmackserlebnis garantiert, auch Gourmetköche könnten ebenfalls bei geschicktem Marketing auf diesen Hybriden aufmerksam werden. Dementsprechend wäre der Hybrid PI-DULB als Nischenprodukt durchaus vorstellbar.

Zudem könnte der erhöhte Fettgehalt einen interessanten Aspekt in der Ebermast darstellen. Eberfleisch ist durch einen sehr mageren Schlachtkörper mit hohem Magerfleischanteil und dementsprechend geringerem intramuskulärem Fettgewebe charakterisiert, was sich negativ auf den Geschmack des Fleisches auswirkt. Würden Schweine vom Genotyp PI-DULB als Eber gemästet werden, wäre es vorstellbar, dass sich der Fettanteil des Schlachtkörpers insgesamt verringert. Dennoch könnte – im Gegensatz zu sehr mageren konventionellen Hybriden – die Schmackhaftigkeit im Hinblick auf das intramuskuläre Fettgewebe weitestgehend erhalten bleiben. Es sollten jedoch weitere Studien folgen, um diese Annahme zu validieren. Eine weitere Möglichkeit den Fettgehalt im Schlachtkörper zu reduzieren, wäre durch eine verkürzte Mastzeit gegeben. Allerdings muss jeder Mäster selbst entscheiden, unter welchen Voraussetzungen und wirtschaftlichen Aspekten dieses Produktionsverfahren umsetzbar wäre.

PI-DUSH

PI-DUSH ist im Vergleich zum konventionellen Hybriden bei derzeitigem Kenntnisstand, als exzellente Alternative für alle Vermarktungsarten und Haltungsbedingungen zu empfehlen. Bezüglich der prozentualen Körperzusammensetzung unterscheiden sich PI-DUSH und PI-DEDL unter den in dieser Studie gegebenen Haltungsbedingungen nur marginal voneinander. Desweiteren kann davon ausgegangen werden, dass das Fleisch aufgrund eines höheren intramuskulären Fettgehaltes bei PI-DUSH schmackhafter ist als das von PI-DEDL. Da die Schmackhaftigkeit des Fleisches unter den derzeitigen Marktbedingungen nicht vergütet wird, kann diese Eigenschaft besonders für Regionalvermarkter wirtschaftlich bedeutsam sein. Zudem kann von PI-DUSH unter ökologischer Tierhaltung erwartet werden, dass er noch bessere Mast- und Schlachtleistungsmerkmale aufweisen wird als der konventionelle Hybrid. Allerdings sollte vor dem flächendeckenden Einsatz von PI-DUSH besonders die Fruchtbarkeit mit mehr Probanden untersucht werden, da diese Arbeit Hinweise auf eine geringere Fruchtbarkeit gibt. Außerdem wäre es empfehlenswert, bei allen Hybriden den Einsatz unter ökologischen Bedingungen praktisch durchzuführen. Dabei sollte nicht nur die Mast- und Schlachtleistung sowie die Fleischbeschaffenheit beurteilt werden, sondern auch die Widerstands- und Anpassungsfähigkeit der Tiere. Sollten sich die Ergebnisse dieser Arbeit bestätigen und sich die Vermutungen der erhöhten Widerstandsfähigkeit und verbesserten Fleischqualität

beweisen lassen, so stünde mit dem Genotypen PI-DUSH im Vergleich zu PI-DEDL ein schmackhafteres und tierschutzfreundlicheres Mastschwein für alle Haltungsformen zur Verfügung.

PI-WIDULB

Abgesehen von einem geringeren Anteil der wertvollen Teilstücke Schinken und Kotelett, kann der Hybrid PI-WIDULB durchaus mit der Körperzusammensetzung von PI-DEDL konkurrieren. So besitzt der Genotyp PI-WIDULB keinen signifikanten Unterschied zu PI-DEDL bezüglich der prozentualen Werte für Magerweichgewebe und Fett. In Hinblick auf die Fruchtbarkeit unterscheiden sich die Ergebnisse der beiden Genotypen nicht. Zudem ist das Wildschwein per se als sehr robustes Schwein gekennzeichnet, wodurch es naheliegend ist, den Hybriden PI-WIDULB ebenfalls als anpassungsfähig und robust zu charakterisieren. Aufgrund der Kombination von Large Black und Duroc kann zudem davon ausgegangen werden, dass das Fleisch, verglichen mit dem konventionellen Hybriden PI-DEDL, schmackhafter ist. Das könnte sich v.a. für Regionalvermarkter und Zulieferer von Gourmetrestaurants auszahlen. Diese Annahmen gilt es in weiterführenden Studien zu beweisen. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass PI-WIDULB ein relativ langsam wachsender Genotyp ist und damit eine längere Mastdauer in Kauf genommen werden muss. Eventuell kann sich diese Eigenschaft jedoch in Zukunft durch eine tierschutzgerechtere Anpassung des Tierschutzlabels sogar als Vorteil erweisen und diesen Hybriden nicht nur sehr interessant für Regionalvermarkter machen, sondern auch eine attraktive Alternative für die konventionelle Schweineproduktion darstellen.

7 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es herauszufinden, ob Pietrain (PI)-Kreuzungsgenotypen mit den „Mutterrassen“ Large Black (LB), Schwäbisch Hällisch (SH), Duroc (DU) sowie dem Wildschwein (WI) eine vergleichbar gute Körperzusammensetzung wie konventionelle Masthybriden der Mutterrassen Deutsches Edelschwein (DE) und Deutsche Landrasse (DL) erzielen können. Unter anderem durch die Pigmentierung der Haut eignen sich die alternativen Hybriden insbesondere für eine Aufstallung in der ökologischen Landwirtschaft sehr gut. Doch auch hier müssen ökonomische Aspekte und die Wünsche der Verbraucher berücksichtigt werden, so dass eine Untersuchung der Schlachtleistung vor dem großflächigen Einsatz sinnvoll ist.

Der Versuchszeitraum erstreckte sich von Oktober 2011 bis September 2012. Dabei wurden 100 Schweine der Kreuzung PI-DUSH, 141 PI-DULB, 67 PI-WIDULB, 155 PI-DEDL Hybriden untersucht. Es wurden 28 verschiedene Pietrain-Zuchteber verwendet.

Die sedierten Schweine wurden per Magnetresonanztomographie im Siemens Magnetom Open (offenes System mit einer Feldstärke von 0,2 Tesla) und danach mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) untersucht.

Die MRT-Schnittbilder wurden aus dem Bereich der Lende (entspricht am Schlachtkörper dem Kotelett) und der Gluteal-/Oberschenkelregion (entspricht dem Schinken) erstellt. Mit Hilfe des Bildbearbeitungsprogrammes „3D-Doktor“ wurde manuell von vier axialen Schnittbildern im Lendenbereich und von drei Schnittbildern im Schinkenbereich (wobei hier nur eine Körperhälfte ausgewertet wurde) sowohl das Muskelvolumen als auch das aufliegende Fettvolumen untersucht. Zudem wurde der prozentuale Anteil am Körpergewicht ermittelt.

Neben den absoluten und relativen Fett- und Magerweichgewebeanteilen ermittelt das DXA-Gerät auch den Knochenmineralgehalt (BMC) sowie die Knochenmineraldichte (BMD). Desweiteren fand eine manuelle Körperteilanalyse in vier Körperregionen (ROIs = Region Of Interest) statt. Die erste Körperregion erstreckte sich vom Kopf bis einschließlich zum ersten Halswirbel (Atlas). Die zweite anschließende Körperregion bestand aus dem Schulterbereich und den Vordergliedmaßen bis zum letzten Rippenbogen.

Die dritte Körperregion begann caudal des letzten Rippenbogens und endete am cranialen Ende des Os sacrum und umfasste demnach den Bauch- und Lendenbereich (inklusive Filet). Die letzte Körperregion beinhaltete das Becken und die Hintergliedmaßen.

Die statistische Auswertung aller Daten erfolgte durch Varianzanalysen mittels der Statistiksoftware SAS 9.3. Folgende fixe Effekte wurden berücksichtigt: Kreuzungsgenotyp, Geschlecht, Alter als Covariable sowie allein der Scanner für die Auswertung der Daten, welche mittels DXA gewonnen wurden. Als zufällige Effekte wurden Scandatum, Vater und Mutterwurf gewählt. Die Signifikanzgrenze wurde bei $p \leq 0,05$ festgesetzt.

PI-DULB besitzt in allen Analysen wesentlich mehr Fett als PI-DEDL und zeigt deutlich weniger Muskelmasse bei nur geringem Unterschied bezüglich der Knochenparameter.

In den Ergebnissen der DXA-Analyse weist PI-DULB deutlich mehr Fettgehalt, weniger Magerweichteilgewebe und sogar weniger Knochenmineralgehalt als PI-DEDL auf. Die Knochenmineraldichte und das Körpergewicht unterscheiden sich nicht signifikant von PI-DEDL. Bezüglich der wertvollen Teilstücke Schinken und des Lenden-Koteletts zeigt sich eine ähnliche Tendenz: Der Fettgehalt ist höher und der Muskelgehalt deutlich geringer als bei den anderen Hybriden. Ferner weist PI-DULB tendenziell eine etwas geringere Fertilität auf als PI-DEDL, wobei aufgrund der kleinen Versuchskohorte keine gesicherte Aussage möglich ist. Demnach ist zwar PI-DULB ein sehr guter Hybrid für die Freilandhaltung, weist aber – zum aktuellen Zeitpunkt – noch nicht den fleischreichen Schlachtkörper des konventionellen Kreuzungsgenotypen auf.

Anders verhält es sich bei PI-WIDULB und PI-DUSH. Letztere zeigt bei ähnlichem Muskel- und Fettgehalt tendenziell eine bessere Knochenstabilität als PI-DEDL.

Die wertvollen Teilstücke Schinken und Lenden-Kotelett als auch die Ganzkörperanalyse weisen keine signifikanten Unterschiede zu PI-DEDL bezüglich des Muskel- und Fettgewebeanteils auf. Der große Vorteil von PI-DUSH zeigt sich in einer deutlich besseren Knochenstabilität mit prozentual höherem Knochenmineralgehalt und höherer Knochenmineraldichte. Dadurch wäre dieser Hybrid ein geeigneter Ersatz für PI-DEDL sowohl in der konventionellen als auch in der ökologischen Tierhaltung. Allerdings darf nicht außer Acht gelassen werden, dass PI-DUSH bei der Auswertung der kleinen Versuchskohorte eine geringere Fruchtbarkeit als PI-DEDL aufweist. Es sollten jedoch weitere Studien bezüglich der Fruchtbarkeit erfolgen, bevor eine gesicherte Aussage darüber getroffen werden kann.

PI-WIDULB ist tendenziell ähnlich wie PI-DUSH veranlagt. Im Bereich des Lenden-Koteletts zeigt PI-WIDULB zwar einen höheren Fettanteil bei geringerer Muskelmasse,

jedoch besitzt dieser Hybrid keine signifikanten Unterschiede zu PI-DEDL bezüglich des prozentualen Muskel- und Fettgehaltes im Schinkenbereich und der Ganzkörperanalyse. Er zeichnet sich indes durch eine deutlich bessere Knochenstabilität aus, da sich PI-WIDULB durch einen wesentlich höheren Knochenmineralgehalt und eine höhere Knochenmineraldichte von PI-DEDL abhebt. Die Fruchtbarkeit (lebend geborene bzw. aufgezogene Ferkel pro Sau und Wurf) ist der von PI-DEDL sehr ähnlich. Jedoch muss beachtet werden, dass PI-WIDULB eine deutlich geringere Wachstumsgeschwindigkeit zeigt als die verglichenen Hybriden.

Abschließend kann v.a. PI-DUSH und eventuell auch PI-WIDULB den Schweinemästern empfohlen werden, die eine Marktnische mit entsprechend höheren Ansprüchen an den Tierschutz füllen wollen. Durch den Einsatz dieser Hybriden tragen sie aktiv zu einem erhöhten Tierwohl bei, da möglicherweise erwartet werden kann, dass weniger skelettbezogene Leiden auftreten. Dadurch könnte die Nutzungsdauer bei annähernd gleicher Körperzusammensetzung erhöht werden. Zudem kann man davon ausgehen, dass die Schmackhaftigkeit des Fleisches von den alternativen Hybriden deutlich besser als bei den konventionellen Hybriden ist. Dies könnte zu einem eindeutigen Wettbewerbsvorteil führen, wenn man diese Eigenschaft gut zu vermarkten weiß.

8 Summary

Body composition analysis in pigs comparing conventional and alternative hybrid lines in vivo by using MRI and DXA

The aim of this study was to examine if Pietrain (PI) crossbreds with the dam breed Duroc (DU), Large Black (LB), Swabian Hall pigs (SH) as well Eurasian wild pig (WI) would show a similar body composition like the conventional hybrid line with the dam lines German Landrace and Large White (PI-DEDL). The pigmentation of the skin of the alternative hybrids makes them suited very well for organic farming and especially free range conditions. Economic aspects and the needs of the customers must be considered too. Therefore, an examination of the carcass performance is required before the alternative hybrids are going to be established in a large scale. The study period started in October 2011 and ended in September 2012. Totally 100 crossbred pigs of PI-DUSH, 141 PI-DULB, 67 PI-WIDULB, 155 PI-DEDL were examined. A number of 28 different breeding boars was used. Firstly, the sedated pigs were examined by using magnetic resonance imaging (MRI) with a Siemens Magnetom Open tomograph (open system with a field strength of 0.2 Tesla) and secondly by using a GE Lunar iDXA dual energy X-ray absorptiometry (DXA) system.

The MRI data were processed as followed: four axial slices starting caudal of the last costal arch and three axial slices starting caudal of the femur were analyzed manually with the Able Software „3D Doctor“. The whole slices were analyzed in the loin region, whereas in the ham region the half of the body was analyzed. This resulted in the absolute and relative muscle volume [cm^3 , %] and volume of the adjacent fat [cm^3 , %] of the loin and ham region. The examination by DXA resulted in the bone mineral density (BMD, g/cm^2) and content (BMC, g), lean and fat content (each in g) of the total body. Furthermore, the percentage (PC) [%] of DXA fat, lean and bone mineral content in relation to the body weight was calculated. Additionally, the whole body was divided into four parts called region of interests (ROIs). The first ROI consisted of the head till the first cervical vertebra (atlas). The second one included the shoulder girdle and the cranial extremities till the last costal arch. The adjacent third ROI ranged to the cranial

end of the os sacrum and therefore it contained the abdomen (including loin and filet). The last ROI included the pelvis and the caudal extremities.

The statistics software SAS 9.3 was used to perform a variance analysis. The fixed effects hybrid line, sex, age as covariate, scanner (alone for DXA) and the random effects scan date, father and mother parity were used in the mixed model analysis. The threshold to significance was set at $p \leq 0,05$.

It becomes apparent for all traits analyzed that PI-DULB contains more fat and less lean tissue than PI-DEDL. In contrary there is only a small difference between PI-DULB and PI-DEDL regarding bone stability. The results of the DXA analysis point out that PI-DULB shows a higher fat content, a lower lean content and even a lower bone mineral content than does PI-DEDL. Bone mineral density and body weight do not differ significantly from PI-DEDL. The valuable parts of the loin and ham region show a similar tendency towards more fat content and less lean tissue than the other hybrids. PI-DULB is less fertile than PI-DEDL. Attention should be paid, however, to reliability of the fertility analysis because the number of observations was relatively low (two up to nine numbers of sows per genotype). Thus more data are required to achieve a reliable statement regarding fertility. Nevertheless, PI-DULB is an appropriate hybrid for outdoor farming, though PI-DULB shows a lower lean meat content than does the conventional hybrid line PI-DEDL.

In comparison with PI-DEDL, PI-DUSH shows no significant difference for the percentage of lean tissue and fat within the valuable parts of the loin and ham region as well as in the whole body. PI-DUSH has a higher bone mineral density, which might be an advantage in comparison with the conventional hybrid line. Therefore, PI-DUSH is an appropriate alternative to PI-DEDL under conventional farming as well as under organic farming conditions. PI-DUSH, however, shows the lowest fertility traits (liveborn and reared piglets per sow and litter) in this small study.

PI-WIDULB tends to have a similar body composition like PI-DUSH. Alone in the loin region, PI-WIDULB has more fat and less lean tissue. There is no significant difference to PI-DEDL regarding the percentage of fat and lean content in the ham region and the whole body analysis. PI-WIDULB may have a better bone stability than PI-DEDL. There is no difference for the fertility traits in comparison with PI-DEDL. But one must keep in mind, that PI-WIDULB has a slower growth rate than have the other hybrid lines.

In conclusion, PI-DUSH and possibly PI-WIDULB can be recommended to farmers looking for special market products, as they show a comparable body composition like

the conventional hybrid line PI-DEDL. The use of these alternative hybrid lines could increase the welfare of farm animals. In the case that a higher bone mineral content and a higher bone mineral density would be related to a lower incidence of skeletal disease, the length of productive life might be increased for the alternative hybrid lines. Furthermore, the meat quality might be improved. In a „niche market“ these two alternatives could have great competitive advantages.

9 Anhang

Die Tabelle 9.1 beweist, dass alle Versuchstiere, egal welchen Genotyps oder Geschlechts gleich viel Futter (2,3 kg) pro Tag aufgenommen haben. Die Berechnung wurde mit Hilfe einer Varianzanalyse mittels der Statistiksoftware SAS 9.3 durchgeführt. Als fixe Effekte wurde der Kreuzungsgenotyp und das Geschlecht berücksichtigt. Als zufällige Effekte wurden die Futtertage, Geburtsdatum, Mutterwurf und Vater ausgewählt. Um eventuell vorhandene statistisch signifikante Unterschiede zu ermitteln, wurde ein F- und t-Test durchgeführt, wobei die Signifikanzgrenze für Differenzen zwischen den kleinsten, mittleren Quadraten bei $p - Wert \leq 0,05$ festgesetzt wurde. In der Tabelle wird der Kleinste Quadrate Mittelwert mit LSM (Least Squares Means) und der Standardschätzfehler mit $\pm SEE$ (Standard Error of the Estimate) abgekürzt.

Tabelle 9.1: Durchschnittliche tägliche Futteraufnahme der unterschiedlichen Kreuzungsgenotypen sowie der zwei Geschlechtergruppen (mk = männliche Kastraten, w = weibliche Tiere)

Genotyp/ Geschlecht	Tägl. Futteraufnahme [kg], LSM \pm SEE
PI-DULB	2,3 \pm 0,04
PI-DUSH	2,3 \pm 0,05
PI-DEDL	2,3 \pm 0,04
PI-WIDULB	2,4 \pm 0,05
mk	2,3 \pm 0,03
w	2,3 \pm 0,03

10 Literatur

- agrarheute.com**, Hrsg. (2012). *Abnahmegarantie für Eberfleisch*.
Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH, Hannover. 22. Mai 2012.
URL: <http://www.agrarheute.com/ebermast-513262> (besucht am 19.02.2013).
- Amo, C., M. Revilla, E. Hernandez, J. Gonzalez-Riola, L. Villa, C. Seco und H. Rico** (1996). „Correlation of ultrasound bone velocity with dual-energy x-ray bone absorptiometry in rat bone specimens“.
In: *Investigative Radiology* 31.2, S. 114–117.
- Arden, M.** (2012). „Ebermast: Es stinkt gewaltig“. In: *topagrar* 2012.8, S. 5–7.
- Arp, B. und P. Naumann** (2001). „Ökologische Schweineproduktion“.
In: *Managementunterlage Schweineproduktion der Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft*. URL: <http://www.orgprints.org/1647/> (besucht am 24.03.2013).
- Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten e.V. (AID)**, Hrsg. (1997).
AID-Broschüre Schweinerassen, 3275/1997 -Begleitheft zur Diaserie 7163.
Informationszentrum für Genetische Ressourcen (IGR) - ZADI.
URL: <http://www.aid.de/Landwirtschaft/tierspecial/schweinerassen>
(besucht am 27.06.2011).
- Bäuerliche Erzeugergemeinschaft Schwäbisch Hall**, Hrsg. (2012).
Verbindliche Erzeugerrichtlinien für „Schwäbisch-Hällisches Qualitätsschwein g.g.A.“ aus kontrollierter und artgerechter Erzeugung.
Bäuerliche Erzeugergemeinschaft Schwäbisch Hall.
URL: http://www.besh.de/menue_ueberuns/richtlinien.html (besucht am 10.07.2012).

- Baulain, U.** (1997). „Magnetic resonance imaging for the in vivo determination of body composition in animal science“.
In: *Computers and Electronics in Agriculture* 17.2, S. 189–203.
- Baulain, U. und H. Henne** (1999).
„Variation des Fleischanteils im Bauch von Schweinen aus Mutterlinien“.
In: *Archiv Tierzucht, Dummerstorf* 42.6, S. 593–600.
- Baulain, U. und M. Henning** (2001). „Untersuchungen zur Schlachtkörper- und Fleischqualität mit Hilfe von MR-Tomographie und MR-Spektroskopie“.
In: *Archiv Tierzucht, Dummerstorf* 44.2, S. 181–192.
- Baulain, U., M. Wiese, E. Tholen, R. Höreth und K.H. Hoppenbrock** (2004).
„Magnet-Resonanz-Tomographie: Referenztechnik zur Bestimmung der Körperzusammensetzung in der Leistungsprüfung beim Schwein“.
In: *Fleischwirtschaft* 84.2, S. 101–104. ISSN: 0015-363X.
- Baulain, U., M. Friedrichs, R. Höreth, M. Henning und E. Tholen** (2010).
„Use Of MRI To Assess Carcass And Primal Cut Composition In Different Pig Breeds“. In: 9th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production.
1. Aug. 2010.
URL: <http://www.kongressband.de/wcgalp2010/assets/html/0357.htm> (besucht am 02.03.2013).
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten,**
Hrsg. (2012). *Schweinezucht und -haltung in Bayern. Fakten und Daten*. URL:
<http://www.verwaltung.bayern.de/egov-portlets/xview/Anlage/1736562/Schweinezucht%20und%20haltung%20in%20Bayern%20Fakten%20und%20Daten.pdf>
(besucht am 27.03.2013).
- Bell, R.A., B.D. Nielsen, K. Waite, D. Rosenstein und M. Orth** (2001).
„Daily access to pasture turnout prevents loss of mineral in the third metacarpus of Arabian weanlings.“ In: *Journal of Animal Science* 79.5, S. 1142–1150.
- Bernau, M.** (2011). „Untersuchung zur möglichen Vorverlegung der Schlachtleistungsprüfung beim Schwein mit Hilfe der Magnetresonanztomographie (MRT) und Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) in vivo“.
Dissertation. LMU München.

- Biedermann, G., C. Jatsch, W. Peschke, J. Lindner und W. Wittmann** (2000). „Mast- und Schlachtleistung sowie Fleisch- und Fettqualität von Pietrain-Schweinen unterschiedlichen MHS-Genotyps und Geschlechts“. In: *Archiv Tierzucht, Dummerstorf* 43.2, S. 165–178.
- Blake, G. und I. Fogelman** (1997). „Technical Principles of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry“. In: *Seminar of Nuclear Medicine* 27.3, S. 210–228.
- Boettcher, H.** (2012). *40 Jahre Cornwallzucht in Thüringen (1925 – 1965)*.
URL: <http://www.deutsches-schweinemuseum.de/images/pdf/dc-boett1.pdf>
(besucht am 25.10.2012).
- Böttinger, M.** (2006). „Untersuchung des Einflusses verschiedener Produktionssysteme auf das Wachstum beim Schwein unter Verwendung der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie zur Messung von Fett, Magerweichgewebe und Knochenmineralansatz“. Dissertation. Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Bracher-Jakob, A.** (2000). *Jungebermast in Forschung und Praxis. Literaturstudie und Standortbestimmung*. Schweizerische Eidgenössische Forschungsanstalt für Nutztiere.
URL: <http://www.agroscope.admin.ch/publikationen/einzelpublikation/index.html?aid=10691&pid=17439> (besucht am 20.02.2013).
- Brandt, H., D. Werner, U. Baulain, M. Henning, W. Brade, F. Weißmann und K. Fischer** (2007). *Prüfung von Gewebewachstum, Mastleistung, Schlachtkörper- sowie Produktqualität unterschiedlicher genetischer Herkünfte und deren züchterische Eignung für die ökologische Schweinefleischerzeugung*. Abschlussbericht. Bundesprogramm Ökologischer Landbau (BÖL).
URL: <http://orgprints.org/13715/1/13715-030E323-uni-giessen-brandt-2007-oekologischeSchweinemast.pdf> (besucht am 22.03.2013).
- Brandt, H., J. Lapp, U. Baulain, W. Brade, K. Fischer und F. Weißmann** (2009). *Auswirkungen unterschiedlicher Duroc-Anteile von Endmastherkünften auf Aspekte der Mastleistung und Schlachtkörperqualität unter ökologischen Produktionsbedingungen*. Abschlussbericht. Bundesprogramm Ökologischer Landbau (BÖL).

URL: http://orgprints.org/16686/1/16686-060E103-uni_giessen-brandt-2009-duroc_endmasterkuenfte.pdf (besucht am 13.08.2013).

Branscheid, W. (2012). „Nachhaltigkeit in der Fleischwirtschaft – Herausforderungen und Missverständnisse“.

In: *Mitteilungsblatt Fleischforschung Kulmbach* 51.197, S. 153–172.

British Pig Association, Hrsg. (2005). *Standards of Excellence Large Black*.

URL: <http://www.britishpigs.org/BPA%20Standards%20of%20Excellence%20Large%20Black.pdf> (besucht am 19.02.2013).

Bühler, R. und G. Postler (2004).

„Ökologischer Gesamtzuchtwert Schwäbisch-Hällisches Schwein“.

In: *Abschlussbericht zum Forschungsprojekt ÖZW-SHS 020E396*.

Bundesprogramm Ökologischer Landbau (BÖL).

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Hrsg. (2013).

Rassebeschreibung Schwein.

Zentrale Dokumentation Tiergenetischer Ressourcen in Deutschland (TGRDEU).

URL: <http://tgrdeu.genres.de/default/hausundnutztiere/detailansicht/detail/63E5D466-BA5A-FD58-E040-A8C0286E751D> (besucht am 16.02.2013).

Burditt, L., U. Desilva und J. Fitch (1999). *Duroc*. Breeds of Livestock.

Department of Animal Science, Oklahoma State University.

URL: <http://www.ansi.okstate.edu/breeds/swine/duroc/index.htm> (besucht am 27.03.2013).

Bussemas, R., B. Früh, K. Kempkens, R. Löser, S. Patzelt, A. Schubbert, Ch. Simantke, G. Stalljohann, F. Weißmann und C. Werner (2011).

Entwicklung, Erprobung, Umsetzung und Evaluation von Strategien in den Bereichen Tiergesundheit, Haltung, Fütterung, Management in der ökologischen

Ferkelerzeugung. Abschlussbericht. Bundesprogramm Ökologischer Landbau und anderer Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN).

Deter, A. (2013). *AbL warnt vor Tierschutzlabel „light“*. topagrar online. URL:

<http://www.topagrar.com/news/Home-top-News-Report-Mainz-kritisiert-Greenwashing-durch-Tierschutzlabel-1050979.html> (besucht am 19.02.2013).

- Deutscher Tierschutzbund e.V.**, Hrsg. (2013). *Tierschutzlabel*.
URLs: <http://www.tierschutzlabel.info/tierschutzlabel/>,
<http://www.tierschutzlabel.info/anbieter/informationen-fuer-landwirte/>
(besucht am 18.02.2013).
- Enzler, J.** (2009).
„Umsetzung der neuen EG-Öko-Verordnung im landwirtschaftlichen Betrieb“.
In: *Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern*.
Ökolandbautag 2009. Hrsg. von **K. Wiesinger und K. Cais**.
Schriftenreihe der LfL 7. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL),
S. 147–153.
- Erhard, M.H.** (2007). „Planung und Umsetzung von Forschungsprojekten“.
In: *Tierhaltung. Ökologie – Ethologie – Gesundheit*.
Bd. 29: *Nutztierhaltung und Gesundheit – Neue Chancen für die Landwirtschaft*.
Hrsg. von **F.-T. Gottwald und D. Nowak**, S. 173–181.
- Erzeugergemeinschaft und Züchtervereinigung für Zucht- und
Hybridzuchtschweine in Bayern e.V. (EGZH)**, Hrsg. (2010). *Zuchtarbeit*.
URLs: <http://www.egzh.de/content?contentid=98>,
<http://www.egzh.de/content?contentid=97> (besucht am 20.02.2013).
- Erzeugergemeinschaft und Züchtervereinigung für Zucht- und
Hybridzuchtschweine in Bayern e.V. (EGZH)**, Hrsg. (2012).
Zuchtbuch- und Zuchtregisterordnung der EGZH.
- Fatima, N. und M. Zaman** (2009).
„Dual X-ray Absorptiometry (DXA): Basic Techniques and Clinical Facts“.
In: *Pakistan Journal of Radiology* 19.2, S. 56–59.
- Fischer, K., J.P. Lindner, M. Judas und R. Höreth** (2006).
„Schlachtkörperzusammensetzung und Gewebebeschaffenheit von schweren
Schweinen I. Mitteilung: Material und Methoden, Mastleistung,
Schlachtkörperzusammensetzung und Teilstückanteile“.
In: *Archiv Tierzucht, Dummerstorf* 49.3, S. 269–278.
- Fowler, P.A., M. Fuller, C. Glasbey, G. Cameron und M.A. Foster** (1992).
„Validation of the in vivo measurement of adipose tissue by magnetic resonance

- imaging of lean and obese pigs“.
In: *The American Journal of Clinical Nutrition* 56.1, S. 7–13.
- Friedrichs, M.** (2010). „Untersuchung verschiedener Möglichkeiten zur Beurteilung der Schlachtkörperqualität stationär leistungsgeprüfter Schweine“.
Dissertation. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.
- Früh, B., C. Leeb, D. Bochicchio, S. Dippel, S. Edwards, S. Gunnarsson, K. Lindgren, H. Mejer und A. Prunier** (2011).
Bioschweinehaltung in Europa – Tierhaltungssysteme und Gesundheitsmanagement.
Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) und Universität für Bodenkultur (BOKU). ISBN: 978-3-03736-199-3.
- Fuller, M., P.A. Fowler, G. McNeill und M.A. Foster** (1994).
„Imaging techniques for the assessment of body composition“.
In: *The Journal of Nutrition* 124.8 Suppl, S. 1546–1550.
- GE Lunar** (2010). *Lunar enCORE-basiertes Knochen-Densitometer-Röntgensystem*.
5. Aufl. Handbuch, Teilenummer LU43616DE.
GE Healthcare, Madison, Wisconsin, USA.
- German Genetic Schweinezuchtverband Baden-Württemberg e.V. (SZV)**,
Hrsg. (2013). *Zuchtprogramme GG* Schwäbisch-Hällisches Schwein*.
URL: <http://www.german-genetic.de/zuchtarbeit/zuchtprogramme/schwaebisch-haellisches-schwein.html> (besucht am 19.02.2013).
- Gethöffer, F.** (2005). „Reproduktionsparameter und Saisonalität der Fortpflanzung des Wildschweins (*Sus scrofa*) in drei Untersuchungsgebieten Deutschlands“.
Dissertation. Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Glodek, P., R. Kratz, E. Schulz und G. Flachowsky** (2004).
„Der Einfluss unterschiedlicher Vatterassen in praxisüblichen Schweinekreuzungen auf deren Ansatzleistung, Schlachtkörperzusammensetzung sowie Fleisch- und Fettbeschaffenheit“. In: *Archiv Tierzucht, Dummerstorf* 47.1, S. 59–74.
- Götz, K.-U., E. Littmann und J. Dodenhoff** (2006).
„Die bayerische Schweinezucht im nationalen und internationalen Vergleich“.
In: *Leistungsorientierte Schweinezucht und artgerechte Schweinehaltung*.
Hrsg. von **Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)**. Bd. 20. 2006.

Institut für Tierzucht, Grub. 26. Okt. 2006, 25ff. URL: http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriftenreihe/p_23117.pdf (besucht am 20.02.2013).

Grevenhof, E.M. van, H. C. M. Heuven, P.R. van Weeren und P. Bijma (2011).

„The relationship between growth and osteochondrosis in specific joints in pigs“.
In: *Livestock Science* 143, S. 85–90.

Grier, S.J., A.S. Turner und M.R. Alvis (1996).

„The Use of Dual-Energy X-ray Absorptiometry in Animals“.
In: *Investigative Radiology* 31.1, S. 50–62. ISSN: 0020-9996.

Gruber, S. (2011). „Wachstum und Produktqualität unterschiedlicher Genotypen für die ökologische Schweinefleischerzeugung“.
Dissertation. Justus-Liebig-Universität Gießen.

Grzimek, B. (1993). *Grzimeks Tierleben – Säugetiere 4.*

München: Deutscher Taschenbuch Verlag, 80ff. ISBN: 3-423-05970-2.

Gu, Y., A.P. Schinckel und T.G. Martin (1992).

„Growth, development, and carcass composition in five genotypes of swine.“
In: *Journal of Animal Science* 70.6, S. 1719–1729.

Gundlach, H. (1968). „Brutfürsorge, Brutpflege, Verhaltensontogenese und Tagesperiodik beim Europäischen Wildschwein (*Sus scrofa* L.)“

In: *Zeitschrift für Tierpsychologie* 25.8, S. 955–995.

Hampe, J. (2005). „Untersuchung zur Körperzusammensetzung und zum Wachstum von Kälbern unterschiedlicher genetischer Herkunft mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA)“. Dissertation. LMU München.

Hörning, B. (2004). „Koordinationsbericht Schweine 2004“.

In: *KoordinatorInnenberichte der GEH 2004*. Hrsg. von **Gesellschaft zur Erhaltung alter und gefährdeter Haustierrassen e.V. (GEH)**. 25. Feb. 2004, S. 7–11.

URL: <http://www.g-e-h.de/geh/aktuell/presse/koordinatorenberichte.pdf>
(besucht am 01.02.2013).

- Huber, K. und D. Klosowska** (2001). „Auswirkungen des Malignen Hyperthermie-Syndroms (MHS) auf Fleischqualität, Muskelfasereigenschaften und Stoffwechselkriterien des M. longissimus von Pietrain-Schweinen“. In: *Archiv Tierzucht, Dummerstorf* 44.2, S. 203–217.
- Hybridschweinezuchtverband Nord/Ost e.V.**, Hrsg. (2013). *Zuchtprogramm, Zucht- und Kreuzungsprogramm*. Hybridschweinezuchtverband Nord/Ost e.V. und Schweineherdbuchzucht Schleswig Holstein e.V.
URL: <http://www.schweinezucht-mv.de/index.php?page=Zuchtprogramm>
(besucht am 17.02.2013).
- Inderbitzin, D., C. Stoupis, D. Sidler, M. Gass und D. Candinas** (2007). „Abdominal magnetic resonance imaging in small rodents using a clinical 1.5 T MR scanner“. In: *Science Direct Methods* 43.1, S. 46–53.
- Jackson, P.G.G. und P.D. Cockcroft** (2007). *Handbook of Pig Medicine*. Saunders Elsevier. ISBN: 978-0-7020-2828-1.
- Jais, C., M. Abriel, B. Haidn, S. Beyer, J. Simon, J. Zahner, J. Weiß, J. Enzler, W. Karl, T. Mews, J. Herrle, E. Pieringer und K. Wiesinger** (2009). „Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der ökologischen Ferkelerzeugung in Bayern – ein interdisziplinäres Projekt“. In: *Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern*. Ökolandbautag 2009. Hrsg. von **K. Wiesinger und K. Cais**. Schriftenreihe der LfL 7. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), S. 55–59.
- Jayo, M.J., S.E. Rankin, D.S. Weaver, C.S. Carlson und T.B. Clarkson** (1991). „Accuracy and precision of lumbar bone mineral content by dual-energy X-ray absorptiometry in live female monkeys“. In: *Calcified Tissue International* 49.6, S. 438–440.
- Jebb, S.A.** (1997). „Measurement of soft tissue composition by dual energy X-ray absorptiometry“. In: *British Journal of Nutrition* 77.2, S. 151–163.

- Junge, J.** (2012). „Chemische Zusammensetzung und Knochendichtemessung mit der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DEXA, Dual Energy X-Ray Absorptiometry) der Röhrrbeine beim Pferd“. Dissertation. Universität Leipzig.
- Kamphues, J., D. Schneider und J. Leibetseder**, Hrsg. (1999).
Supplemente zu Vorlesungen und Übungen in der Tierernährung. 9. Aufl.
Hannover: M. & H. Schaper, 222ff. ISBN: 3-7944-0189-1.
- Kirchgeßner, M.** (2004a).
Tierernährung. Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis. 11. Aufl.
Frankfurt am Main: DLG Verlag, 265ff. ISBN: 3-7690-0594-5.
- Kirchgeßner, M.** (2004b).
Tierernährung. Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis. 11. Aufl.
Frankfurt am Main: DLG Verlag, 537ff. ISBN: 3-7690-0594-5.
- Koesling, M. und A.-K. Loes** (2009). „Ausstieg aus der zertifiziert ökologischen Landwirtschaft in Norwegen – Motivation und anschließende Wirtschaftsweise“. In: *Werte – Wege – Wirkungen: Biolandbau im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel*.
Bd. 1: *Boden, Pflanzenbau, Agrartechnik, Umwelt- und Naturschutz, Biolandbau international, Wissensmanagement*.
10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau Zürich (11. Feb. 2009).
Hrsg. von **J. Mayer, T. Alföldi, F. Leiber, D. Dubois, P. Fried, F. Heckendorn, E. Hillmann, P. Klocke, A. Lüscher, S. Riedel, M. Stolze, F. Strasser, M. van der Heijden und H. Willer**. 2 Bde., S. 466–469.
ISBN: 978-3-89574-700-7.
URL: <http://orgprints.org/15160/1/band-01-gesamt-exemplar-oe.pdf>
(besucht am 24.02.2013).
- Korn, St., U. Baulain, M. Arnold und W. Brade** (2005).
„Nutzung von Magnet-Resonanz-Tomographie und Ultraschalltechnik zur Bestimmung des Schlachtkörperwertes beim Schaf“. In: *Züchtungskunde* 77.5, S. 382–393. ISSN: 0044-5401.
- Laenoi, W., W. J. Uddin, M. U. Cinar, C. Große-Brinkhaus, D. Tesfaye, E. Jonas, A.M. Scholz, E. Tholen, C. Looft, K. Wimmers, C. Phatsara, H. Sauerwein und K. Schellander** (2010a). „Mapping of quantitative trait loci

- associated with leg weakness-related traits in pigs“. In:
9th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Leipzig.
1. Aug. 2010. ISBN: 978-3-00-031608-1.
URL: <http://www.kongressband.de/wcgalp2010/assets/html/0724.htm> (besucht
am 15.08.2013).
- Laenoi, W., M. J. Uddin, M. U. Cinar, C. Phatsara, D. Tesfaye,
A.M. Scholz, E. Tholen, C. Looft, M. Mielenz, H. Sauerwein und
K. Schellander** (2010b). „Molecular characterization and methylation study of
matrix gla protein in articular cartilage from pig with osteochondrosis“.
In: *Gene* 459.1–2, S. 24–31.
- Laenoi, W., M. J. Uddin, M. U. Cinar, C. Große-Brinkhaus, D. Tesfaye,
E. Jonas, A.M. Scholz, E. Tholen, C. Looft, K. Wimmers, C. Phatsara,
H. Juengst, H. Sauerwein, M. Mielenz und K. Schellander** (2011).
„Quantitative trait loci analysis for leg weakness-related traits in a Duroc x Pietrain
crossbred population“. In: *Genetics Selection Evolution* 43.13.
- Laenoi, W., N. Rangkasenee, M.J. Uddin, M.U. Cinar, C. Phatsara,
D. Tesfaye, A.M. Scholz, E. Tholen, C. Looft, M. Mielenz, H. Sauerwein,
K. Wimmers und K. Schellander** (2012).
„Association and expression study of MMP3, TGF β 1 and COL10A1 as candidate
genes for leg weakness-related traits in pigs“.
In: *Molecular Biology Reports* 39.4, S. 3893–3901.
- Lahrman, K.H. und H. Plonait** (2004). „Gliedermaßen- und Skeletterkrankungen“.
In: *Lehrbuch der Schweinekrankheiten*.
Hrsg. von **K.-H. Waldmann und M. Wendt**. 4. Aufl. Georg Thieme Verlag,
S. 261. ISBN: 3-8304-4104-5.
- Lange, K. und D. Möller** (2009). „Wirtschaftlichkeit der ökologischen
Ferkelerzeugung – Ein Entscheidungsunterstützungswerkzeug“.
In: *Werte – Wege – Wirkungen: Biolandbau im Spannungsfeld zwischen
Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel*.
Bd. 2: *Tierhaltung, Agrarpolitik und Betriebswirtschaft, Märkte und Lebensmittel*.
10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau Zürich (11. Feb. 2009).
Hrsg. von **J. Mayer, T. Alföldi, F. Leiber, D. Dubois, P. Fried,**

F. Heckendorn, E. Hillmann, P. Klocke, A. Lüscher, S. Riedel, M. Stolze, F. Strasser, M. van der Heijden und H. Willer. 2 Bde., S. 272–275.

ISBN: 978-3-89574-700-7.

URL: <http://orgprints.org/15160/4/band-02-gesamt-exemplar-oe.pdf>

(besucht am 24.02.2013).

Large Black Hog Association, Hrsg. (2010). *Breed History*.

URL: <http://largeblackhogassociation.org/breed-history/> (besucht am 25.10.2012).

Large Black Pig Breeders Club, Hrsg. (2011).

Large Blacks are now the UK's rarest Pig Breed.

URL: <http://www.largeblackpigs.co.uk/> (besucht am 10.07.2012).

Laskey, M. und D. Phil (1996).

„Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition“.

In: *Nutrition* 12.1, S. 45–51.

Lauten, S.D., N.R. Cox, W.R. Brawner und H.J. Baker (2001).

„Use of dual energy x-ray absorptiometry for noninvasive body composition measurements in clinically normal dogs“.

In: *American Journal of Veterinary Research* 62.8, S. 1295–1301.

Lindermayer, H., G. Propstmeier und W. Preißinger (2009).

„Grundsätze der Schweinefütterung. Ernährungsphysiologische Grundlagen“.

In: *LfL-Information*. Hrsg. von

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).

Lindermayer, H., G. Propstmeier, W. Preißinger und E. Pieringer (2011).

„Fütterungsfibel Ökologische Schweinehaltung“. In: *LfL-Information*. Hrsg. von

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).

Lindermayer, H., G. Propstmeier, W. Preißinger und S. Fuhrmann (2012a).

„Futterberechnung für Schweine“. In: *LfL-Information*. Hrsg. von

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).

Lindermayer, H., W. Preißinger, G. Propstmeier und S. Fuhrmann (2012b).

„Schweinefütterung. Beiträge zur Tiergesundheit und zum Tierwohl“.

- In: *LfL-Information*. Hrsg. von
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), S. 73–74.
- Littmann, E., K.-U. Götz und J. Dodenhoff** (2006).
„Schweinezucht und Schweineproduktion“.
In: *Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft* 2006.7.
Hrsg. von **Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)**.
ISSN: 1611-4159. URL: http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriftenreihe_url_1_39.pdf (besucht am 17.02.2013).
- Löffler, B. und U. Filbrandt** (2012).
Strukturanalyse der Produktions- und Verarbeitungsmärkte im ökologischen Landbau.
URL: <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/ErlaeuterungenOekomarkt.pdf> (besucht am 23.02.2013).
- Losand, B., H. Dreschel, J. Martin und A. Priepke** (2003).
„Nutzung einheimischer Eiweißpflanzen in der Fütterung“.
In: *Archiv Tierzucht, Dummerstorf* 46, S. 107–114.
- Lösel, D., P. Kremer, E. Albrecht und A.M. Scholz** (2010).
„Comparison of a GE Lunar DPX-IQ and a Norland XR-26 dual energy X-ray absorptiometry scanner for body composition measurements in pigs – in vivo“.
In: *Archiv Tierzucht, Dummerstorf* 53.2, S. 162–175.
- MacLennan, D., C. Duff, F. Zorzato, J. Fujii, M. Phillips, R. Korneluk, W. Frodis, B. Britt und R. Wortont** (1990). „Ryanodine receptor gene is a candidate for predisposition to malignant hyperthermia“.
In: *Nature Publishing Group* 343, S. 559–561.
- Marcoux, M., L. Faucitano und C. Pomar** (2005).
„The accuracy of predicting carcass composition of three different pig genetic lines by dual-energy X-ray absorptiometry“. In: *Meat Science* 70.4, S. 655–663.
- Matthes, W.** (2004). „Betrachtungen zum geeigneten Endstufenpartner unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit in der Schweineproduktion“.
In: *Züchtungskunde* 76, S. 421–431.
- Mawby, D.I., J.W. Bartges, A. d’Avignon, D.P. Laflamme, T.D. Moyers und T. Cottrell** (2004).

- „Comparison of various methods for estimating body fat in dogs“.
In: *Journal of the American Animal Hospital Association* 40.2, S. 109–114.
- Meier, D.** (2010). *MRI Grundlagen*. BoD – Books on Demand.
ISBN: 978-3-8423-3830-2.
- Mitchell, A.D., J. Conway und W. Potts** (1996).
„Body composition analysis of pigs by dual-energy x-ray absorptiometry“.
In: *Journal of Animal Science* 74.11, S. 2663–2671.
- Mitchell, A.D., A.M. Scholz, V.G. Pursel und C.M. Evock-Clover** (1998).
„Composition analysis of pork carcasses by dual-energy x-ray absorptiometry.“
In: *Journal of Animal Science* 76.8, S. 2104–2114.
- Mitchell, A.D., A.M. Scholz, P.C. Wang und H. Song** (2001a).
„Body composition analysis of the pig by magnetic resonance imaging“.
In: *Journal of Animal Science* 79.7, S. 1800–1813.
- Mitchell, A.D., A.M. Scholz und V.G. Pursel** (2001b).
„Total body and regional measurements of bone mineral content and bone mineral density in pigs by dual energy X-ray absorptiometry“.
In: *Journal of Animal Science* 79.10, S. 2594–2604.
- Mitchell, A.D., A.M. Scholz und V.G. Pursel** (2002).
„Prediction of the in vivo Body Composition of Pigs Based on Cross-Sectional Region Analysis of Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA) Scans“.
In: *Archiv Tierzucht, Dummerstorf* 45.6, S. 535–545.
- Mitchell, A.D., A.M. Scholz und V.G. Pursel** (2003).
„Prediction of pork carcass composition based on cross-sectional region analysis of dual energy X-ray absorptiometry (DXA) scans“. In: *Meat Science* 63.2, S. 265–271.
- Mitchell, A.D., G. Ramsay, T. Caperna und A.M. Scholz** (2012).
„Body composition of piglets exhibiting different growth rates“.
In: *Archiv Tierzucht, Dummerstorf* 55.4, S. 356–363.
- Moewius, J., A. Gerber und D. Schaack** (2012).
Zahlen, Daten, Fakten – Die Biobranche 2012.
BÖLW (Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft).

URL: http://www.boelw.de/uploads/pics/ZDF/ZDF_Endversion_120110.pdf
(besucht am 03.02.2013).

Müller, S., M. Otto, G. Reimann und U. Weiler (2010).

„Eber auf Herz und Nieren geprüft“. In: *dlz primus schwein* 2010.12, S. 40–45.

National Swine Registry (2010). *Duroc*. URL: http://www.nationalswine.com/Home_pages/Breed_Pages/Duroc_Breed_Page.html (besucht am 10.07.2012).

Neef, J. (2009).

„Untersuchungen zur Reproduktionsdynamik beim mitteleuropäischen Wildschwein“. Dissertation. Justus-Liebig-Universität Gießen.

Newell, S.M., G.D. Roberts und R.A. Bennett (1997).

„Imaging Techniques for Avian Lower Respiratory Diseases“.

In: *Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine* 6.4, S. 180–186.

Niedersächsisches Ministerium für den ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Hrsg. (2005).

Wild und Jagd. Landesjagdbericht 2004.

URL: <http://www.ljn.de/index.php?id=2338&file=130&uid=2439> (besucht am 27.03.2013).

Nitz, W.R., V.M. Runge, S.H. Schmeets, W.H. Faulkner und N.K. Desai

(2007). *Praxiskurs MRT. Anleitung zur MRT Physik über klinische Bildbeispiele*.

Georg Thieme Verlag. ISBN: 978-3-13-139721-8.

Pandey, M.P., K. Schöggel, J. Viszelj und K. Widhalm (2011).

„Body Composition: Dual-Röntgen-Absorptiometrie (DEXA)“.

In: *Journal für Ernährungsmedizin* 13.1, S. 32–34.

Pees, M., I. Kiefer, E. Ludewig, S. Westphal, V. Schmidt,

M.E. Krautwald-Junghanns und G. Oechtering (2006).

„Vergleichender Einsatz moderner bildgebender Verfahren zur Diagnostik von Pneumonien bei drei Tigerpythons (*Python molurus*)“.

In: *Tierärztliche Praxis Kleintiere* 34, S. 275–282. ISSN: 1434-1239.

Peters, K. und D. König (2010). *Fortbildung Osteologie (Buch 3)*.

Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag. ISBN: 978-3642053849.

- Pietrobelli, A., C. Formica, Z. Wang und S. Heymsfield** (1996). „Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts“. In: *American Journal of Physiology* 271.6, E941–E951.
- Plank, D.L.** (2005). „Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition“. In: *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care* 8.3, S. 305–309.
- Raffan, E., S.L. Holden, F. Cullingham, R.M. Hackett, J.M. Rawlings und A.J. German** (2006). „Standardized positioning is essential for precise determination of body composition using dual-energy X-ray absorptiometry in dogs“. In: *The Journal of Nutrition* 136.7, 1976S–1978S.
- Rangkasenee, N., E. Murani, R. Brunner, K. Schellander, M.U. Cinar, A.M. Scholz, H. Luther, A. Hofer, S. Ponsuksili und K. Wimmers** (2012). „KRT8, FAF1 and PTH1R gene polymorphisms are associated with leg weakness traits in pigs“. In: *Molecular Biology Reports* DOI 10.1007/s11033-012-2301-9.
- Redrobe, S.** (2001). „Imaging Techniques in Small Mammals“. In: *Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine* 10.4, S. 187–197.
- Reuter, K.** (2007). „Eine eigenständige Tierzucht für den Öko-Landbau – jetzt!“ In: *Ökologie & Landbau* 142 (2 2007), S. 14–16.
- Reuter, K., A. Idel und G. Postler** (2007). *Netzwerk Tierzucht im ökologischen Landbau. Schlussbericht. Bundesprogramm Ökologischer Landbau (BÖL).*
URL: <http://www.orgprints.org/11273/> (besucht am 21.07.2012).
- Rico, H., M. Revilla, J.L. Cardenas, L.F. Villa, E. Fraile, F.J. Martin und I. Arribas** (1994). „Influence of weight and seasonal changes on radiogrammetry and bone densitometry“. In: *Calcified Tissue International* 54.5, S. 385–388.
- Ringe, J.D.** (2003). „Osteoporosediagnostik, -klassifikation und -stadieneinteilung“. In: *Calcium plus Vitamin D. Schlüsselrolle in der Osteoporosebehandlung.* Georg Thieme Verlag, S. 45–61. ISBN: 3-13-133151-8.

- Rodenas, S., M. Pumarola, L. Gaitero, A. Zamora und S. Anor** (2011). „Magnetic resonance imaging findings in 40 dogs with histologically confirmed intracranial tumours“. In: *The Veterinary Journal* 187.1, S. 85–91.
- Sambras, H.** (1986). *Atlas der Nutztierassen – 180 Rassen in Wort und Bild*. Stuttgart: Ulmer Eugen Verlag. ISBN: 3-8001-7160-0.
- Schaber, J.** (2012). „Wir können (fast) alles, von Ackerbau bis Zuchtschwein. Die baden-württembergische Landwirtschaft im Vergleich“. In: *Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg* 6.2012, S. 25–30.
URL: http://www.statistik-bw.de/Veroeffentl/Monatshefte/PDF/Beitrag12_06_05.pdf (besucht am 15.02.2013).
- Schild, H.** (1997). *MRI made easy*. 2. Aufl. Berlin: Schering Aktiengesellschaft. ISBN: 3-921817-41-2.
- Schlewitz, G., P. Govindarajan, N. Schlieke, V. Alt, W. Böcker, T. ElKhassawna, U. Thormann, K.S. Lips, N.Y. Hemdan, D. Zahner, R. Schnettler und C. Heiss** (2013). „Ovarektomie und Kalzium-/Vitamin D2/D3-arme Diät als Osteoporosemodell an der Wirbelsäule von Sprague-Dawley-Ratten“. In: *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* 151.1, S. 14–19.
- Schneider, S., S.M. Breit, S. Grampp, W.W.F. Künzel, A. Liesegang, E. Mayrhofer und J. Zentek** (2004). „Comparative assessment of bone mineral measurements obtained by use of dual-energy x-ray absorptiometry, peripheral quantitative computed tomography, and chemical-physical analyses in femurs of juvenile and adult dogs“. In: *American Journal of Veterinary Research* 65.7, S. 891–900.
- Scholz, A.M.** (2002). „In-vivo-Methoden zur Analyse von Muskelstoffwechsel und Körperzusammensetzung beim Schwein unter besonderer Berücksichtigung genetischer Einflüsse“. Habilitationsschrift. LMU München.
- Scholz, A.M. und M. Förster** (2006). „Genauigkeit der Dualenergie-Röntgenadsorptionmetrie (DXA) zur Ermittlung der Körperzusammensetzung von Schweinen in vivo“. In: *Archiv Tierzucht, Dummerstorf* 49.5, S. 462–476.

Scholz, A.M. und U. Baulain (2009).

„Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung am lebenden Nutztier“.
In: *Züchtungskunde* 81.2, S. 86–96. ISSN: 0044-5401.

Scholz, A. und T. Hardge (1994).

„Zum Einfluss von MHS-Genotyp und Genkonstruktion auf komplexe quantitative Merkmale der Mast- und Schlachtleistung sowie Fleischqualität beim Schwein“.
In: *Archiv für Tierzucht* 37, S. 245–256.

Scholz, A.M., P. Heller, K.-H. Waldmann, P. Wolf, J. Kamphues und

M. Förster (2004). „Eignung der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie zur Erfassung der Knochenmineralisierung von Ebern“.
In: *Züchtungskunde* 76.2, S. 94–107. ISSN: 0044-5401.

Schön, A., U. Clar, W. Brade, M. Weber und S. Polten (2013).

Aktuelle Endstufeneber im Leistungsvergleich.
Landwirtschaftskammer Niedersachsen. URL: <http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/1/nav/227/article/11643.html> (besucht am 12.02.2013).

Schumacher, H., H. Paulsen und A. Gau (2009).

„Phänotypische Merkmale für die Selektion heimischer Leguminosen auf Methioninreichtum in der Pflanzenzüchtung“.
In: *Landbauforschung (vTI Agriculture and Forestry Research)* 59.4, S. 339–344.

Secombe, C.J., E.C. Firth, N.R. Perkins und B.H. Anderson (2002).

„Pathophysiology and diagnosis of third carpal bone disease in horses: A review“.
In: *New Zealand Veterinary Journal* 50.1, S. 2–8.

Seibel, C. und G. Biedermann (2005). „Genetische Situation einer gefährdeten

Schweinerasse – Das Schwäbisch Hällische Schwein“.
In: *Großtierpraxis* (1 2005), S. 31–34.

Simon, O. und W. Goebel (1999). „Zum Einfluss des Wildschweines (*Sus scrofa*)

auf die Vegetation und Bodenfauna einer Heidellandschaft“.
In: *Natur- und Kulturlandschaft, Höxter/Jena* Band 3, S. 172–177.

Speakman, J.R., D. Booles und R. Butterwick (2001).

„Validation of dual energy X-ray absorptiometry (DXA) by comparison with

chemical analysis of dogs and cats.“

In: *International Journal of Obesity* 25.3, S. 439–447.

Stalljohann, G. (2011).

„Proteinversorgung bei 100% Bio-Fütterung – ein Blick in die Zukunft“.

In: *Praxis trifft Forschung. Neues aus dem Ökologischen Ackerbau und der Ökologischen Tierhaltung 2011*. Hrsg. von **G. Rahmann und U. Schumacher**. Sonderheft 354.

Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei sowie Bioland e.V. Ressort Landbau, S. 73–77.

ISBN: 978-3-86576-080-7.

Stamer, E., W. Brade und E. Kalm (2008). „Genetische Trends in der

Niedersächsischen Pietrain-Eberpopulation in Abhängigkeit vom MHS-Status“.

In: *Züchtungskunde* 80.4, S. 265–276. ISSN: 0044-5401.

Steinacker, M. (2005).

„Einfluss von Ibandronat auf die Knochenmineraldichte und Osteointegration bei Hydroxylapatit beschichteten Implantaten im Femur osteoporotischer Ratten“.

Dissertation. Justus-Liebig-Universität Giessen.

Steinborn, M. und H. Hahn (2010). „Kindliche Osteochondrosen“.

In: *RöFo – Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren* 182.S 01, RK310_1.

Straub, J. und K. Jurina (2001). „Magnetic Resonance Imaging in Chelonians“.

In: *Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine* 10.4, S. 181–186.

Sundrum, A., K. Schneider und U. Richter (2005).

Possibilities and limitations of protein supply in organic poultry and pig production. Report of Organic research group. Universität Kassel.

URL: http://www.organic-revision.org/pub/Final_Report_EC_Revision.pdf
(besucht am 03.03.2013).

Sundrum, A. (2011). „Möglichkeiten und Grenzen der Qualitätserzeugung in der ökologischen Schweinehaltung“. In: *Praxis trifft Forschung. Neues aus dem Ökologischen Ackerbau und der Ökologischen Tierhaltung 2011*.

Hrsg. von **G. Rahmann und U. Schumacher**. Sonderheft 354.

Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei sowie Bioland e.V. Ressort Landbau, S. 35–48.
ISBN: 978-3-86576-080-7.

Suster, D., B.J. Leury, E. Ostrowska, K.L. Butler, D.J. Kerton, J.D. Wark und F.R. Dunshea (2003).

„Accuracy of dual energy X-ray absorptiometry (DXA), weight and P2 back fat to predict whole body and carcass composition in pigs within and across experiments“. In: *Livestock Production Science* 84.3, S. 231–242.

SWR Fernsehen, Redaktion MARKTCHECK, Hrsg. (2013).

Fleischlabel: Was Verbraucher dazu wissen müssen.

Sendung vom 14.02.2013, 21 Uhr. SWR Fernsehen.

URL: <http://www.swr.de/marktcheck/gesundheit-ernaehrung/tierschutz-fleisch-label/-/id=2248976/nid=2248976/did=10808132/zvojan/index.html>

(besucht am 19.02.2013).

Szabo, Cs., L. Babinszky, M.W.A. Verstegen, O. Vangen, A.J.M. Jansman und E. Kanis (1999). „The application of digital imaging techniques in the in vivo estimation of the body composition of pigs: A review“.

In: *Livestock Production Science* 60.1, S. 1–11.

Tholen, E., U. Baulain, M. D. Henning und K. Schellander (2003).

„Comparison of different methods to assess the composition of pig bellies in progeny testing“. In: *Journal of Animal Science* 81.5, S. 1177–1184.

TierSchNutztV (2009). *Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und andere zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung (Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung).*

Fassung der Bekanntmachung von 22. August 2006 (BGBl.I S.2043), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 1. Oktober 2009 (BGBl.I S. 3223) geändert worden ist.

Verband der Landwirtschaftsberater in Bayern e. V. (2007).

Tierische Erzeugung. Grundlagen der Nutztierhaltung, der Fütterung, der Tierzucht; Biotechnik und Gentechnik; Funktion und Planung von Betriebsgebäuden; Produktions- und Verfahrenstechnik der Tierhaltung; Zucht, Haltung und Fütterung von Rindern und Schweinen; Tiergesundheit und Tierschutz; Ökologische

Tierhaltung; Weitere Nutztiere; Futtermittelkunde. 12. Aufl.

München: BLV Buchverlag & Co. KG, 862ff. ISBN: 978-3-8354-0051-1.

Verhoye, M., A. Van der Linden, J. Van Audekerke, J. Sijbers, M. Eens und J. Balthazart (1998).

„Imaging birds in a bird cage: in vivo FSE 3D MRI of bird brain“.

In: *Magnetic Resonance Materials in Biology, Physics and Medicine* 6.1, S. 22–27.

VO (EG) Nr. 505/2012. *Durchführungsverordnung (EU) Nr. 505/2012 der Kommission vom 14. Juni 2012 zur Änderung und Berichtigung der Verordnung (EG) Nr. 889/2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle.*

VO (EG) Nr. 834/2007. *Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91. Veröffentlicht am 20.07.2007 im Amtsblatt der Europäischen Union.*

VO (EG) Nr. 889/2008. *Verordnung (EG) Nr. 889/2008 der Kommission vom 5. September 2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle.*
Veröffentlicht am 18.09.2008 im Amtsblatt der Europäischen Union.

Vonlanthen, J. und L. Baumgartner (2006). „Erhöhung der Peak Bone Mass durch genügend körperliche Belastung in der Jugend: Ist bei 9-bis 14-jährigen Schülern ein genügender Knochenaufbau gewährleistet?“
Abschlussarbeit. Hochschule Wallis.

Weishaupt, D., V.D. Köchli und B. Marincek (2009). *Wie funktioniert MRI?: Eine Einführung in Physik und Funktionsweise der Magnetresonanzbildgebung.* Springer. ISBN: 978-3-540-89572-5.

Weiß, J., W. Pabst und S. Granz (2011). *Tierproduktion.* Stuttgart: Enke Verlag. ISBN: 978-3-8304-1161-1.

Weißmann, F. (2009).

„Ressortforschung für die Ökologische Schweinefleischerzeugung“.

In: *Ressortforschung für den ökologischen Landbau 2008*, S. 31–38.

Weißmann, F., A. Berk und R. Joost-Meyer zu Bakum (2010).

„Hilft kompensatorisches Wachstum bei der Überwindung der Proteinlücke in der ökologischen Schweinemast?“

In: *Ressortforschung für den ökologischen Landbau 2010*, S. 59–70.

Weißmann, F. (2011).

„An Exemplary View on the Influence of Genotype and Feeding on Growth Performance, Carcass Quality, and Meat Quality in Organic Pig Fattening“.

In: *Landbauforschung (vTI Agriculture and Forestry Research)* 61.2, S. 75–82.

Werner, D.N. (2009).

„Genotyp-Umwelt-Interaktionen bei der Haltung unterschiedlicher genetischer Schweineherkünfte unter konventionellen und ökologischen Bedingungen“.

Dissertation. Justus-Liebig-Universität Gießen.

Westphal, V. und M. Isenberg (2012). „Agrarmärkte Jahresheft 2011/2012“. In:

Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 6.2012. Hrsg. von **Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) und Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der Ländlichen Räume (LEL)**.

ISSN: 1611-4159. URL: http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriftreihe/p_44147.pdf (besucht am 16.02.2013).

Whitley, N., D. Hanson, W. Morrow, M.T. See und S.-H. Oh (2012a).

„Comparison of Pork Quality and Sensory Characteristics for Antibiotic Free Yorkshire Crossbreds Raised in Hoop Houses“. In: 25.11, S. 1634–1640.

URL: <http://dx.doi.org/10.5713/ajas.2012.12296> (besucht am 13.08.2013).

Whitley, N., W.E.M. Morrow, M.T. See und S.-H. Oh (2012b).

„Comparison of Growth Performance of Antibiotic-free Yorkshire Crossbreds Sired by Berkshire, Large Black and Tamworth Breeds Raised in Hoop Structures“.

In: 25.10, S. 1351–1356.

URL: <http://dx.doi.org/10.5713/ajas.2012.12162> (besucht am 13.08.2013).

Wiegand, I. (2009). *Informationspapier Schweine*.

PROVIEH – Verein gegen tierquälerische Massentierhaltung e.V.

URL: <http://www.provieh.de/downloads/Informationspapier%20Schweine%2020251012.pdf> (besucht am 17.03.2013).

Wittmann, W. (2003).

„Verbesserung der Schlachtkörperqualität in der ökologischen Schweineproduktion“.

In: *Forschung für den ökologischen Landbau in Bayern*.

Ökolandbautag der LfL (10. Feb. 2003).

Hrsg. von **Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)**. Triesdorf, S. 70–76.

Züchtervereinigung Schwäbisch Hällisches Schwein, Hrsg. (1999).

Zuchtbuchordnung der Züchtervereinigung Schwäbisch Hällisches Schwein.

URL: <http://www.besh.de/pdf/ueberuns/zvsh/Zuchtbuchordnung.pdf> (besucht am 10.07.2012).

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Hr. Prof. Dr. Scholz, dass er meinem Hund Snoop und mir die Doktorarbeit ermöglicht und bestens betreut hat.

Für das Durchhaltevermögen während der langen Scantage möchte ich gerne meinen Helfer/-innen Rita Wenczel, Max Schachtner, Florian Obersojer, Maren Bernau und Martin Burmeister als auch dem ganzen restlichen Team des Schweinebereiches des LVGs danken. Mein Dank gebührt auch Dr. Stefan Nüske, Christa Gurgui sowie Richard Bätz für ihre lebenswerte Unterstützung.

Zudem bedanke ich mich ganz herzlich bei dem gesamten Team des Rinderbereiches des LVGs: Jürgen Lange, Leo Schlickerrieder, Norbert Dierig und besonders Michael Saller, die mir eine unvergesslich, schöne Zeit am LVG Obeschleißheim ermöglicht haben. Bei Diana bedanke ich mich ganz herzlich für die vielen sonntäglichen Korrekturen, für den Feinschliff der Doktorarbeit. Alle falsch gesetzten Leerzeilenabstände wurden von ihr mit Engelsgeduld zuverlässig aufgedeckt und eliminiert. Einen ganz besonderen lieben Dank möchte ich meinen Eltern, meiner großen Schwester Iris sowie Roland zuteil werden lassen, die mir immer mit Rat und Tat zur Seite standen und mich in jeder Lebenslage unterstützen.